



高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

# 土木工程概论

● 主编 张志国 主审 王慧东



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



高等学校土木工程专业  
“十二五”系列规划教材·应用型

◆ 土木工程概论

理论力学  
材料力学  
材料力学学习题册  
结构力学  
工程力学  
混凝土结构基本原理  
混凝土结构设计  
土木工程施工技术  
土木工程施工组织  
土力学与基础工程  
房屋建筑学  
工程地质  
土木工程材料  
土木工程测量  
画法几何与土木工程制图  
画法几何与土木工程制图习题集  
建筑结构  
建设工程监理概论  
土木工程造价  
建设工程法规  
建设工程经济  
建设工程项目管理  
土木工程CAD  
土木工程专业英语

- 项目策划/ 王
- 责任编辑/ 郭
- 责任校对/ 谢守
- 装帧设计/ 吴

◆ 基本数字教学资源网站链接: <http://www.stmpress.cn> ◆

ISBN 978-7-307-12640-4



定价: 30.00元



高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

# 土木工程概论

主 编 张志国

副主编 邹 皓 贾正甫 张士彩 宋 帅

主 审 王慧东



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

土木工程概论/张志国主编. —武汉:武汉大学出版社, 2014. 3  
高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型  
ISBN 978-7-307-12640-4

I. 土… II. 张… III. 土木工程—高等学校—教材 IV. TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 316768 号

责任编辑:郭 芳      责任校对:谢守琪      装帧设计:吴 极

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu\_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:湖北睿智印务有限公司

开本:850×1168 1/16      印张:14.5      字数:396 千字

版次:2014 年 3 月第 1 版      2014 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-12640-4      定价:30.00 元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 高等学校土木工程专业“十二五”系列规划教材·应用型

## 编审委员会

顾问 王世庆 刘 华 杨家仕 戴运良

主任委员 康志华 张志国

副主任委员 罗特军 李平诗 张来仪 何志伟 邹 皓 杨乃忠

王君来 周家纪 袁自峰 冯治流

委员(按姓氏笔画排名)

王若志 王星捷 王晓明 王涯茜 白立华 刘 琛

李 然 李忠定 李章政 吴浙文 张士彩 尚晓峰

郝献华 胡益平 段 旻 韩俊强 蒲小琼 蔡 巍

魏泳涛

总责任编辑 曲生伟

秘书长 王 睿



## 特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

### 课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

### 课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

基本数字教学资源网站链接:<http://www.stmpress.cn>

# 前 言

土木工程概论是设立大土木工程专业之后,为了让学生在入学之初,就能了解土木工程专业的结构类型、发展和典型工程,及其人才培养目标、定位等,而开设的一门专业基础课。该课程具有内容广泛、信息量大等特点。本书在编写过程中,主要以结构类型为主线,围绕典型工程,重点体现不同结构的功能及发展,让学生全面地了解土木工程的成就,以激发学生对土木工程专业的学习热情。本书可供土木工程相关专业学生和技术人员参考使用。

本书由石家庄铁道大学张志国担任主编;成都理工大学工程技术学院邹皓、四川大学锦江学院贾正甫、石家庄铁道大学四方学院张士彩、成都理工大学工程技术学院宋帅担任副主编;石家庄铁道大学四方学院王芳、石家庄铁道职业技术学院杨石柱、河北交通职业技术学院陈玉欣、宁夏理工学院张金荣担任参编。全书由张志国统稿。

具体编写分工如下:

石家庄铁道大学,张志国(前言、第1章、第5章、第11章);

成都理工大学工程技术学院,邹皓(第12章);

四川大学锦江学院,贾正甫(第9章、第10章);

石家庄铁道大学四方学院,张士彩(第3章);

成都理工大学工程技术学院,宋帅(第5章、第6章);

石家庄铁道大学四方学院,王芳(第2章);

石家庄铁道职业技术学院,杨石柱(第4章、第7章、第8章);

河北交通职业技术学院,陈玉欣(第4章);

宁夏理工学院,张金荣(第2章)。

石家庄铁道大学王慧东主审了本书,并对本书的编写提出了很多宝贵的建议,在此表示感谢。另外,对本书参考文献的作者,致以最衷心的感谢。

由于时间仓促,且编者学术水平和教学经验有限,书中错误和疏漏之处在所难免,敬请本书的使用者批评指正,也恳请将使用意见反馈给出版社,为日后修订提供参考。

编 者

2013年12月

# 目 录

<b>1 绪论</b>	(1)
1.1 土木工程的概念	(1)
1.2 土木工程的发展历程及展望	(2)
1.3 土木工程专业学习建议	(8)
本章小结	(15)
独立思考	(15)
参考文献	(15)
<b>2 土木工程材料</b>	(16)
2.1 土木工程材料的分类与性质	(16)
2.2 常用土木工程材料简介	(18)
本章小结	(23)
独立思考	(24)
参考文献	(24)
<b>3 地基与基础</b>	(25)
3.1 概述	(25)
3.2 工程地质勘察	(27)
3.3 地基	(29)
3.4 基础	(35)
本章小结	(41)
独立思考	(41)
参考文献	(41)
<b>4 建筑工程</b>	(42)
4.1 概述	(42)
4.2 建筑结构与构造	(50)
4.3 建筑设计	(52)
4.4 建筑工程施工技术	(54)
本章小结	(70)
独立思考	(71)
参考文献	(71)
<b>5 桥梁工程</b>	(72)
5.1 概述	(72)



5.2	桥梁的组成与分类	(80)
5.3	桥梁的总体规划及设计要点	(86)
5.4	桥梁工程的发展特点	(87)
	本章小结	(88)
	独立思考	(88)
	参考文献	(88)
<b>6</b>	<b>道路工程</b>	(89)
6.1	公路	(89)
6.2	城市道路	(94)
6.3	高速公路	(95)
	本章小结	(99)
	独立思考	(99)
	参考文献	(99)
<b>7</b>	<b>隧道与地下工程</b>	(100)
7.1	概述	(100)
7.2	隧道工程	(102)
7.3	地下工程	(121)
	本章小结	(126)
	独立思考	(127)
	参考文献	(127)
<b>8</b>	<b>铁道工程</b>	(128)
8.1	概述	(128)
8.2	高速铁路	(140)
8.3	城市轨道交通工程	(144)
	本章小结	(152)
	独立思考	(152)
	参考文献	(152)
<b>9</b>	<b>水利工程</b>	(153)
9.1	概述	(153)
9.2	水库及水利枢纽	(156)
9.3	水电站建筑物	(163)
9.4	我国几个典型的水利枢纽工程实例	(167)
9.5	水利水电工程的建设动向	(169)
	本章小结	(172)
	独立思考	(172)
	参考文献	(173)

<b>10 港口和飞机场</b> .....	(174)
10.1 港口工程.....	(174)
10.2 机场工程.....	(184)
本章小结.....	(192)
独立思考.....	(193)
参考文献.....	(193)
<b>11 工程防灾与减灾</b> .....	(194)
11.1 工程灾害的类型.....	(194)
11.2 工程灾害的防治.....	(201)
本章小结.....	(204)
独立思考.....	(205)
参考文献.....	(205)
<b>12 建设项目管理</b> .....	(206)
12.1 建设程序与建设法规.....	(206)
12.2 工程的项目管理.....	(209)
12.3 工程项目的招投标程序.....	(212)
12.4 建设工程的监理.....	(216)
12.5 案例分析.....	(218)
本章小结.....	(219)
独立思考.....	(220)
参考文献.....	(220)

# 1 绪 论

## 【内容提要】

本章主要内容为土木工程和土木工程专业的基本概念,土木工程的发展历史和未来展望及土木工程专业学习建议。本章的教学重难点是土木工程的发展历程及展望。

## 【能力要求】

通过本章的学习,学生应熟悉土木工程概念,了解土木工程发展历史。

## 1.1 土木工程的概念

### 1.1.1 土木工程及土木工程专业

土木工程是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养维修等技术活动;也指工程建设的对象,即建造在地上或地下、陆上或水中,直接或间接为人类生活、生产、军事、科研服务的各种工程设施,如房屋、道路、铁路、运输管道、隧道、桥梁、运河、堤坝、港口、电站、飞机场、海洋平台、给水和排水以及防护工程等。建造工程设施的物质基础是土地、建筑材料、建筑设备和施工机具。借助这些物质条件,经济而便捷地建成既能满足人们使用要求和审美要求,又能安全承受各种荷载的工程设施,是土木工程学科的出发点和归宿。

土木工程的英语名称为 Civil Engineering,意为“民用工程”。它的原意是与“军事工程”(Military Engineering)相对应的,后来逐渐成为一切为了生活和生产所需的民用工程设施的总称,并发展成为一个学科。

土木工程作为一种系统的产业活动,其实质是生产的过程,或者说,是创造或者制造一种特定产品的过程。作为工程科学的一个门类,它是以土木工程为对象的一门技术科学。

土木工程专业学生主要学习工程力学、岩土工程、结构工程、市政工程、给水排水工程和水利工程学科的基本理论和知识,接受工程制图、工程测量、计算机应用、专业实验、结构设计及施工实践等方面的基本训练,最终具备从事建筑工程、交通土建工程、水利水电工程、港口工程、海岸工程和给水排水工程的规划、设计、施工、管理及相关研究工作的能力。

为培养土木工程所需的各类人员,世界各国在大学本科教学中都设立了土木工程专业。世界上最早培养土木工程师的大学是 1747 年法国创办的巴黎路桥学校。此后,英国、德国等也相继在大学中设置了土木工程相关专业。我国土木工程教育最早出现在 1895 年创办的北洋西学学堂(后称北洋大学,今天津大学)。经过一个多世纪,特别是改革开放 30 多年的迅速发展,我国目前已有 1000 余所高等院校开设土木工程专业,培养能从事土木工程设计、施工、管理、咨询、监理等方面工作的专业技术人员。



### 1.1.2 科学技术与工程的关系

科学技术与工程是人类认识自然与改造自然的两种形式和手段。科学技术的实质在于以发现和发明为己任,认识自然,揭示自然运动的客观规律,并把主体对客体的规律性认识运用于变革自然的过程中,通过工程实施来改造自然。它主要是以知识的形态来表现,是“思想和文献”。工程的实质在于在特定的相关的科学技术理论和方法指导下改造自然、建造人工自然,最终形成工程实体的活动和过程。它主要通过物质的形态体现出来,是“行动和实体”。

科学技术与工程,又是相互联系的。它们的目的是一致的。科学技术与工程无论是认识自然、改造自然,还是建造人工自然,其目的都是为人类的生存和发展需要服务,维持可持续发展和改善人类生态环境。科学技术与工程相互依存、相互促进、相互作用、相互渗透。在当今的工程实践中,这种联系更加紧密,你中有我,我中有你,已经达到了不可分割的程度。工程领域和活动需要科学思维、科学技术理论的指导,没有科学技术理论的指导,工程就不可能全面实现其目标,就很难建成、建好。可以说,现代的工程凝结和汇聚了相当的科技含量。反过来说,科学技术的应用又往往是以工程为依托的,离开了工程等实践活动,科学技术就成了无本之木、无源之水,科学技术理论和方法只有运用于工程等实践活动,才能得到检验和发展。从哲学上看,这是一个认识和实践的辩证关系问题。从这个意义上讲,科学技术与工程密不可分,科学技术与工程的这种紧密关系反映了科学技术工程一体化,反映了工程与科学技术的融合、统一及互动作用。

### 1.1.3 土木工程师的责任和义务

土木工程师担负着房屋、桥梁、隧道、道路等重要基础设施的建设与维护重任,在研究自然规律,获取工程知识的基础上,要用其创造性的劳动成果,为人类社会提供适宜的生活环境和生产基础。

技术和科学的紧密结合,使得历史上曾经存在的工匠式的“专家”,转变为现代意义上的工程师。专门化的工程师的出现,可以说是近现代的土木工程区别于古代土木工程的一个显著标志。土木工程的这一发展,或者说是“进化”,丝毫没有排斥工程活动必须依靠经验积累的事实,直到今天,在工程师的教育活动中仍然高度重视经验的积累。但是,科学素养的培养、技术理论的学习、实验能力的训练,是土木工程师之所以成为工程师而非工匠的一个根本性的要求。

土木工程师是适应现代化建设的需要,掌握土木工程学科的理论 and 基本知识,获得土木工程师的基本训练,具有创新精神的高级工程科学技术人才。现代工程师应具有良好的交流能力、合作精神,懂得如何理解和运用工程技术与社会背景的复杂关系,能胜任跨学科的合作,养成终身学习的能力与习惯,适应多变的职业领域。这是一个合格的现代工程师必须具备的能力和素质,也是人才培养方案的新目标。

## 1.2 土木工程的发展历程及展望

### 1.2.1 古代土木工程

古代土木工程的时间跨度,大致从旧石器时代(约公元前 5000 年起)到 17 世纪中叶。古代土木工程所用材料,最早为当地的天然材料,如泥土、石块、树枝、竹、茅草、芦苇等,后来开发出土坯、石材、砖、瓦、青铜、铁、铅,以及混合材料,如草筋泥、混合土等。古代土木工程所用工具,最早只是

石斧、石刀等简单工具,后来开发出斧、凿、锤、钻、铲等青铜和铁制工具,以及打桩机、桅杆起重机等简单施工机械。古代土木工程的建造主要依靠实际生产经验,缺乏设计理论的指导。尽管如此,古代土木工程还是留下了许多伟大的工程,记载着灿烂的古代文明。

#### (1)万里长城

万里长城是世界上修建时间最长、工程量最大的工程之一,也是“世界十大奇迹”之一。长城从公元前 7 世纪开始修建,秦统一六国后,其规模达到空前巨大,西起临洮,东至辽东,蜿蜒一万余里,于是有了“万里长城”的称号。明朝对长城又进行了大规模的整修和扩建,东起鸭绿江,西至嘉峪关,全长有 7000km 以上,设置“九边重镇”,驻防兵力达 100 万人。“上下两千年,纵横十万里”,万里长城不愧是人类历史上伟大的军事防御工程。万里长城的结构形式主要为砖石结构,有些地段采用夯土结构,在沙漠中则采用红柳、芦苇与沙粒层层铺筑的结构。

#### (2)都江堰和京杭大运河

都江堰和京杭大运河是我国古代水利工程的两个杰出代表。

都江堰位于四川灌县的岷江上,建于公元前 3 世纪,由战国时期秦蜀郡太守李冰父子率众人修建,是现存最古老且目前仍用于灌溉的伟大水利工程。都江堰以无坝引水为特征,由鱼嘴、飞沙堰、宝瓶口三部分组成。鱼嘴是江心的分水堤坝,把岷江分成外江和内江,外江排洪、内江灌溉;飞沙堰起泄洪、排沙和调节水量的作用;宝瓶口控制进水量。都江堰工程设计的合理与巧妙,令现在的许多国内外水利工程专家都赞叹不已。

京杭大运河是世界上建造最早、长度最长的人工开凿的河道。京杭大运河开凿于春秋战国时期,隋朝大业六年(公元 610 年)全部完成,迄今已有 2400 多年的历史。京杭大运河由北京到杭州,流经河北、山东、江苏、浙江四省,沟通海河、黄河、长江、淮河、钱塘江五大水系,全长 1794km,至今该运河的江苏段和浙江段仍是重要的水运通道。

#### (3)中国古代桥梁

我们的祖先在桥梁建设史上也写下了不少光辉灿烂的篇章。据史料记载,约 3000 年前他们已在渭河上架设过浮桥。在中国,吊桥具有悠久的历史。初期的缆索由藤条或竹子做成,后来发展为用铁链代替。在古代,中国的冶炼技术领先于世界。据《水经注》记载,早在前秦时代(约公元前 200 年),就已经有了铁制的桥墩。汉明帝时(公元 60 年前后)就有了铁链悬索桥。至今保留下来的古代吊桥包括四川省泸定县的大渡河铁索桥,其建成于 1706 年,桥跨 100m,桥宽约为 2.8m。

中国早在秦汉时期就已广泛修建石梁桥。福建泉州的万安桥,于 1059 年建成,共 58 孔,长达 540m(有的记载长 800m)。漳州虎波桥,于 1240 年建成,总长约为 335m,一直保存至今;其单个石梁长达 23.7m,重约 2000kg,这样大的石梁,其运输、安装都需要很高的技术。河北赵州桥(又称安济桥),是中国古代石拱桥的杰出代表。该桥为隋朝(公元 605 年左右)工匠李春所建,其特点是跨度大(37.47m)、矢跨比小,主跨带有小拱,轻巧美观,又利于排洪。作为石拱桥其跨度之大,当时居世界之首。

#### (4)国外古代建筑

西方留下来的宏伟建筑(或建筑遗址)大多是砖石结构的。如埃及的金字塔,建于公元前 2700 年至公元前 2600 年。其中最大的一座是胡夫金字塔,该塔基底为正方形,每边长 230.5m,高约为 1.40m,用 230 余万块巨石砌成。又如希腊的帕提农神庙、古罗马的斗兽场等都是非常优秀的古代石结构建筑。

中国古代建筑大多用木结构加砖墙建成。公元 1056 年建成的山西应县木塔(佛官寺释迦塔),塔高为 67.31m,共 9 层,横截面呈八角形,底层直径达 30.27m。该塔经历了多次大地震,历时近

千年仍完好耸立,这足以证明我国古代木结构的精湛技术。其他木结构如北京故宫、天坛,天津蓟县的独乐寺、观音阁等,也都是具有悠久历史的优秀木结构建筑。

### 1.2.2 近代土木工程

一般认为,近代土木工程的时间跨度为 17 世纪中叶到第二次世界大战前后,历时 300 余年。在这一时期,土木工程有了革命性的发展,逐步形成一门独立学科。这个时期的土木工程的发展有以下几个特点。

#### (1) 奠定了土木工程的设计理论

土木工程的实践及其他学科的发展为系统的设计理论奠定了基础。在这一时期,意大利学者伽利略于 1683 年首次用公式表达了梁的设计理论。1687 年,牛顿总结出力学三大定律,为土木工程奠定了力学分析的基础。1744 年,瑞士数学家欧拉建立了柱的压屈理论,给出了柱的临界压力的计算公式。随后,在材料力学、弹性力学和材料强度理论的基础上,法国的纳维于 1825 年建立了土木工程中结构设计的容许应力法。从此,土木工程的结构设计有了比较系统的理论指导。1906 年美国旧金山大地震和 1923 年日本关东大地震推动了土木工程对结构动力学和工程结构抗震的研究,从此土木工程结构设计有了比较系统的理论基础。

#### (2) 出现了新的土木工程材料

从材料方面来讲,1824 年波特兰水泥的发明及 1867 年钢筋混凝土的应用是近代土木工程发展史上的重大事件。1859 年转炉炼钢法的成功使钢材得以大量生产并应用于房屋、桥梁等建筑。混凝土及钢材的推广应用,使得土木工程师可以运用这些材料建造更为复杂的工程设施。在近代及现代建筑中,凡是高耸、大跨、巨型、复杂的工程结构,绝大多数应用了钢结构或钢筋混凝土。

#### (3) 出现了新的施工机械及其施工技术

这一时期内,产业革命促进了工业、交通运输业的发展,对土木工程设施提出了更多的要求,同时也为土木工程的建造提供了新的施工机械和施工方法。打桩机、压路机、挖土机、掘进机、起重机、吊装机等纷纷出现,这为快速、高效地建造土木工程提供了有力的手段。

#### (4) 土木工程发展到成熟阶段,其建设规模前所未有

在交通运输方面,由于汽车在陆路交通中具有快速和机动灵活的特点,道路工程的地位日益重要。沥青和混凝土开始用于铺筑高级路面。1931—1942 年,德国首先修筑了长达 3860km 的高速公路网,美国和欧洲其他一些国家相继效仿。20 世纪初出现了飞机,飞机场工程迅速发展起来。钢铁质量的提高和产量的上升,使建造大跨桥梁成为现实。1918 年加拿大建成魁北克悬臂桥,跨度为 548.6m;1931 年,美国纽约建成乔治·华盛顿桥,主跨为 1067m,是第一座单跨超千米的大跨桥梁;1937 年,美国旧金山建成金门悬索桥,跨度为 1280m,全长 2825m,是公路桥的代表性工程;1932 年,澳大利亚建成悉尼港桥,为双铰钢拱结构,跨度为 503m。工业的发达,城市人口的集中,使工业厂房向大跨度发展,民用建筑向高层发展。日益增多的电影院、体育馆、飞机库等都要求采用大跨度结构。1925—1933 年,在法国、苏联和美国分别建成了跨度达 60m 的圆壳、扁壳和圆形悬索屋盖。中世纪的石砌拱终于被近代的壳体结构和悬索结构所取代。1931 年美国纽约的帝国大厦落成,共 102 层,高达 378m,有效面积为  $1.6 \times 10^5 \text{ m}^2$ ,结构用钢约为  $5 \times 10^4 \text{ t}$ ,内装电梯 67 部,还有各种复杂的管网系统,可谓集当时技术成就之大成,它保持世界房屋最高纪录达 40 年之久。

中国清朝实行闭关锁国政策,近代土木工程进展缓慢,直到清末出现洋务运动,才引进一些西方技术。1909 年,中国著名工程师詹天佑主持修建的京张铁路竣工,全长约为 200km,达到当时的世界先进水平,全程有 4 条隧道,其中八达岭隧道长为 1091m;1894 年用气压沉箱法施工建成的滦



河大桥;1901年建成全长为1027m的松花江桁架桥;1905年建成全长为3015m的郑州黄河桥。中国近代市政工程始于19世纪下半叶,1865年上海开始供应煤气,1879年旅顺建成中国第一个近代给水工程,时隔不久,上海也开始供应自来水和电力。

中国近代建筑以1929年建成的中山陵和1931年建成的广州中山纪念堂(跨度为30m)为代表。1934年在上海建成了24层钢结构的国际饭店、21层的百老汇大厦(今上海大厦)和12层钢筋混凝土结构的大新公司。到1936年,已有近代公路 $1.1 \times 10^5$ km。由中国工程师设计修建了浙赣铁路、粤汉铁路的株洲至韶关段以及陇海铁路西段等铁路。1937年建成了公路铁路两用钢桁架的钱塘江大桥,长为1453m,采用沉箱基础。在材料方面,1889年在唐山出现了中国第一个水泥厂;1910年开始生产机制砖。这些工程建设在中国近代土木工程上都具有一定的代表性。

### 1.2.3 现代土木工程

现代土木工程以现代科学技术为背景,以现代工程材料为基础,以社会生产力的现代发展为动力,以现代工艺与机具为手段高速向前发展。第二次世界大战结束后,社会生产力出现了新的飞跃。现代科学技术突飞猛进,土木工程进入一个新时代。

#### (1) 工程功能化

现代土木工程的特征之一,是工程设施同它的使用功能或生产工艺更紧密地结合。复杂的现代生产过程和日益上升的生活水平,对土木工程提出了各种专门的要求。现代土木工程为了适应不同工业的发展,有的工程规模极为宏大,如大型水坝混凝土用量达数千万立方米,大型高炉的基础也达数千立方米;有的则要求十分精密,如电子工业和精密仪器工业要求能防微振。现代公用建筑和住宅建筑不再仅仅是传统意义上徒具四壁的房屋,而要求同采暖、通风、给水、排水、供电、供燃气等种种现代技术设备结合成一体。

#### (2) 城市立体化

随着经济的发展,人口的增长,城市用地更加紧张,交通更加拥挤,这就迫使房屋建筑和道路通向高空和地下发展。高层建筑成了现代化城市的象征。1974年芝加哥建成高达433m的西尔斯大厦,超过1931年建造的纽约帝国大厦的高度。现代高层建筑由于设计理论的进步和材料的改进,出现了新的结构体系,如剪力墙、筒中筒结构等。美国在1968—1974年建造的3幢超过百层的高层建筑,自重比帝国大厦减轻20%,用钢量减少30%。高层建筑的设计和施工是对现代土木工程成就的一个总检阅。城市道路和铁路很多已采用高架,同时又向地层深处发展。地下铁道在近几十年得到进一步发展,地铁早已电气化,并与建筑物地下室连接,形成地下商业街。北京地下铁道在1969年通车后,1984年又建成新的环形线。地下停车库、地下油库日益增多。城市道路下面密布着电缆、给水、排水、供热、供燃气的管道,构成城市的脉络。现代城市建设已经成为一个立体的、有机的系统,对土木工程各个分支以及它们之间的协作提出了更高的要求。图1-1和图1-2分别为中国台北国际金融中心大厦(台北101)和美国芝加哥西尔斯大楼。

#### (3) 交通高速化

现代世界是开放的世界,人、物和信息的交流都要求更高的速度。高速公路虽然1934年就在德国出现,但在世界各地较大规模地修建,是第二次世界大战后的事。1983年,世界高速公路已达 $1.1 \times 10^5$ km,很大程度上取代了铁路的职能。高速公路的里程数,已成为衡量一个国家现代化程度的标志之一。我国从1988年第一条高速公路建成,截止到2013年底通车里程已突破100000km。铁路也出现了电气化和高速化的趋势。日本的“新干线”铁路行车时速达210km以上,法国巴黎到里昂的高速铁路运行时速达260km。目前,我国高速铁路已突破10000km,最高运

行时速达到 350km。从工程角度来看,高速公路、铁路在坡度、曲线半径、路基质量和精度方面都有严格的限制。交通高速化直接促进着桥梁、隧道技术的发展。不仅穿山越江的隧道日益增多,而且出现长距离的海底隧道。如日本从青森至函馆越过津轻海峡的青函海底隧道,全长达 53.85km;我国秦岭终南山隧道全长达 18.4km。



图 1-1 中国台北国际金融中心大厦(508m)



图 1-2 美国芝加哥西尔斯大楼(443m)

#### (4)材料轻质高强度

现代土木工程材料进一步变得轻质化和高强度。工程用钢的发展趋势是采用低合金钢。中国从 20 世纪 60 年代起普遍推广了锰硅系列和其他系列的低合金钢,大大节约了钢材用量并改善了结构性能。高强钢丝、钢绞线和粗钢筋的大量生产,使预应力混凝土结构在桥梁、房屋等工程中得以推广。标号为 500~600 号的水泥已在工程中普遍应用,近年来轻集料混凝土和加气混凝土已用于高层建筑。例如,美国休斯敦的贝壳广场大楼,用普通混凝土只能建 35 层,改用了陶粒混凝土,自重大大减轻,用同样的造价建造了 52 层。而大跨、高层、结构复杂的工程又反过来要求混凝土进一步轻质化、高强度;我国客运专线电缆槽盖板要求采用活性粉末混凝土,抗压强度达 130MPa。

#### (5)施工过程工业化

大规模现代化建设使中国和前苏联的建筑标准化达到了很高的程度。人们力求推行工业化生产方式,在工厂中成批地生产房屋、桥梁的种种构配件、组合体等。预制装配化的潮流在 20 世纪 50 年代后席卷了以建筑工程为代表的许多土木工程领域。这种标准化在中国土木工程中,起到了积极的作用。中国建设规模在绝对数字上是巨大的,30 年来城市工业与民用建筑面积达  $2.3 \times 10^9 \text{ m}^2$ ,其中住宅  $1.0 \times 10^9 \text{ m}^2$ ,若不广泛推行标准化,是难以完成的。装配化不仅对房屋重要,也在中国桥梁建设中引出装配式轻型拱桥,从 20 世纪 60 年代开始采用与推广,对解决农村交通起到了一定的作用。我国铁路桥梁普遍采用标准化的 T 梁和箱形梁,采用工厂化生产,集中预制架设法施工,在保证质量的前提下,促进了施工进度,不到 10 年,我国高铁里程已突破 10000km。

#### (6)理论研究精密化

现代科学信息传递速度大大加快,一些新理论与方法,如计算力学、结构动力学、动态规划法、网络理论、随机过程论、滤波理论等的成果,随着计算机的普及而被应用到了土木工程领域。结构动力学已发展完备。荷载不再是静止的和确定性的,而将被当作随时间变化的随机过程来处理。美国和日本使用由计算机控制的强震仪台网系统,提供了大量原始地震记录。日趋完备的反应谱方法和直接动力法在工程抗震中发挥了很大作用。中国在抗震理论、测震、震动台模拟试验以及结

构抗震技术等方面有了很大的发展。静态的、确定的、线性的、单个的分析,逐步被动态的、随机的、非线性的、系统与空间的分析所代替。电子计算机使高次超静定的分析成为可能,如高层建筑中框架—剪力墙体系和筒中筒体系的空间工作,只有用电算技术才能计算。电算技术也促进了大跨桥梁的实现,1980年英国建成亨伯悬索桥,单跨达1410m;1983年西班牙建成卢纳预应力混凝土斜张桥,跨度达440m;1975年我国在云阳建成第一座斜张桥,后在济南建成黄河斜张桥,跨度为220m,以及天津永和桥,跨度达260m。1998年,日本建成明石海峡大桥,主跨达1990.8m,是最大跨度悬索桥;2008年,我国建成苏通长江大桥,主跨达1088m,建成时是世界最大跨度斜拉桥。

从材料特性、结构分析、结构抗力计算到极限状态理论,土木工程各个分支都得到充分发展。20世纪50年代,美国、苏联开始将可靠性理论引入土木工程领域。土木工程的可靠性理论建立在作用效应和结构抗力的概率分析基础上。工程地质、土力学和岩体力学的发展为研究地基、基础和开拓地下、水下工程创造了条件。计算机不仅用以辅助设计,更被当作优化手段,不但运用于结构分析,而且扩展到建筑、规划领域。理论研究的日益深入,使现代土木工程获得许多质的飞跃,并使工程实践更离不开理论指导。

此外,现代土木工程与环境关系更加密切,不仅要使用功能上使它造福人类,还要注意它与环境的协调问题。现代生产和生活排放大量废水、废气、废渣,污染着环境。环境工程,如废水处理工程等又为土木工程增添了新内容。核电站和海洋工程的快速发展,又产生新的引起人们极为关心的环境问题。现代土木工程规模日益扩大,如世界水利工程中,库容达 $3.0 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 的水库有28座,高于200m的大坝有25座。乌干达欧文瀑布水库库容达 $2.04 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,前苏联罗贡士石坝高为325m;中国葛洲坝截断了世界最大河流之一的长江,并又建成了三峡高坝,在1983年完成了引滦入津工程。这些大水坝的建设和水系调整还会引起对自然环境的负面影响,即破坏自然生态平衡,而且现代土木工程规模愈大,它对自然环境的影响也愈大。因此,伴随着大规模现代土木工程的建设,带来一个保持自然界生态平衡的课题,有待综合研究解决。

### 1.2.4 土木工程展望

土木工程的功能化、城市建设的立体化、交通运输的高速化必然使得构成土木工程的三个要素——材料、理论、施工出现了新的发展趋势。

#### (1) 材料向多功能、智能化发展

从土木工程的发展历史来看,材料品种或性能的变迁,往往是土木工程技术发展的动力和促进施工技术产生显著变革或进步的基础。土木工程材料的发展与土木工程技术的进步有着不可分割的联系,它们相互制约、相互依赖和相互推动。依靠材料科学和现代工业技术,人们已开发出了许多高性能和多功能的新型材料。

智能化材料是指材料本身具有自感知、自调节、自清洁、自修复,实现构筑物自我监控的功能,以及可重复利用性。如将碳纤维材料作为导电材料加入水泥浆中,当纤维用量合适且制备工艺合适时,硬化电阻的特性会随外界压力的变化而变化,也即对应力敏感,当结构内的应力接近损伤区或破坏区时即可自动报警,这就是具有自诊断功能的碳纤维压敏混凝土结构。利用这一特性,可用于大坝、桥梁及重要的工程结构,实现结构在线监测和损伤评估。

为了保护人类赖以生存的环境,未来的土木工程材料在技术性能不断改进的同时,还应遵循工程建设以环境为本的宗旨。绿色建材就是从可持续发展角度出发,尽可能地少用天然资源,充分利用再生资源,大量使用工业或城市固体废弃物,采用低能耗、无污染的生产技术,生产和开发能够降解有害气体、抑菌与杀菌,对人体健康和环境无害并且可循环再生利用的新型材料。因此开发和使

用绿色建材,实现材料与环境的协调及相互适应,将是未来土木工程材料发展的必然趋势。

### (2) 设计理论的精确化、科学化

设计理论的精确化、科学化主要表现在理论分析由线性到非线性分析;由平面分析到空间分析;由单个分析到系统的综合整体分析;由静态分析到动态分析;由经验定值分析到随机分析;由数值分析到模拟实验分析;由人工手算、人工做比较方案、人工制图到计算机辅助设计、计算机优化设计、计算机制图等。理论研究的日益深入,使现代土木工程取得许多质的进展,使工程实践更离不开理论指导。土木工程学的学科理论如可靠性理论、土力学和岩土力学理论、结构抗震理论、动态规划理论、网络理论将得到迅速发展。

### (3) 施工技术向工业化、装配化方向发展

随着经济的快速发展,钢结构建筑已经从大跨高耸结构向一般民用建筑推广,应用越来越广泛,钢结构最适用于工厂化生产。混凝土结构也普遍推广集中预制装配施工技术,如客运专线应用的大型箱梁采用预制架设法施工,公路中预制箱梁的质量已超过 2000t。施工技术的发展,促进了大型和智能化施工装备的发展。如桥梁施工使用的提梁、运梁、架梁设备,隧道施工使用的盾构机,路面施工使用的滑模式水泥混凝土摊铺机和桥梁预应力施工的智能张拉及自动化压浆设备等。

### (4) 土木工程将向太空、海洋、荒漠地区开拓

地球上的海洋面积占整个地球表面积的 71% 左右,现在陆地上土地太少,向海洋开拓的时代已经开始。为了防止噪音对居民的影响,也为了节约用地,许多机场已开始填海造地。如中国澳门机场、日本关西国际机场均修筑了海上的人工岛,在岛上建跑道和候机楼。如果将平台扩大,建成海上城市是完全可能的。

全世界陆地中约有 21% 为沙漠或荒漠地区,千里荒沙,渺无人烟,目前还很少开发。沙漠难以利用主要是因为缺水,生态环境恶劣,日夜温差太大,空气干燥,太阳辐射太强,不适于人类生存。近代许多国家已开始沙漠改造工程。我国西北部,利用兴修水利,植固沙植物,改良土壤等方法,使一些沙漠变成了绿洲。沙漠的改造利用不仅增加了有效土地利用面积,同时还改善了全球生态环境。

向太空发展是人类长期的梦想,在 21 世纪这一梦想可能变为现实。美国华裔科学家林柱铜博士将从月球带回来的岩石烧制成了水泥。因为月球上有丰富的矿藏,美国已经计划在月球上建造一个基地。日本人设想在月球上建立六角形蜂房式基地,用钢铁制成,可以拼接扩大,内部造成人工气候,使之适合人类居住。随着太空站和月球基地的建立,人类可向火星进发。与地球相似的是火星,但火星上缺氧,为了使火星地球化,人们设想利用生物工程,将制氧微生物及低等植物移向火星,使之在较短时间内走完地球几亿年才走完的进程,等到火星适于人类居住,人类便可向火星移民,而火星到地球可用宇宙飞船联系,人们的生活空间将大大扩展。

## 1.3 土木工程专业学习建议

### 1.3.1 土木工程专业培养目标及要求

#### 1.3.1.1 土木工程专业本科培养目标及要求

按照教育部颁布的新的本科专业目录,土木工程专业又分为本科专业目录和工科引导性专业目录两种,后者是构筑在更广阔的专业知识和目标之上的培养模式,即在工科中开设的宽口径培养

人才的专业。现将这两种土木工程专业的培养目标及要求作如下介绍。

(1) 土木工程专业(目录编号:080703)

对学生业务的培养目标为:培养掌握工程力学、流体力学、岩土力学和市政工程学科的基本理论和基础知识;具备从事土木工程的项目规划、设计、研究开发、施工及管理的能力;能在房屋建筑、地下建筑、隧道、道路、桥梁、矿井等的设计、研究、施工、教育、管理、投资、开发部门从事技术或管理工作的高级工程技术人才。

学生业务培养要求是:主要学习工程力学、流体力学、岩土力学和市政工程学科的基本理论,接受课程设计、试验仪器操作和现场实习等方面的基本训练,具有从事土木工程的规划、设计、研究、施工、管理的基本能力。

要求毕业生获得以下几方面的知识和能力:

①具有较扎实的自然科学基础,了解当代科学技术的主要方面和应用前景。

②掌握工程力学、流体力学、岩土力学的基本理论,掌握工程规划与选型、工程材料、结构分析与设计、地基处理方面的基本知识,掌握有关建筑机械、电工、工程测量与试验、施工技术与组织等方面的基本技术。

③具有工程制图、计算机应用、主要测试和试验仪器使用的基本能力,具有综合应用各种手段(包括外语工具)查询资料、获取信息的初步能力。

④了解土木工程主要法规。

⑤具备进行工程设计、试验、施工、管理和研究的初步能力。

涉及的主要学科:力学、土木工程、水利工程。

本专业主要课程:材料力学、结构力学、流体力学、土力学、土木工程材料、混凝土结构、钢结构、房屋结构、桥梁结构、地下结构、道路勘测、路基路面结构、施工技术与组织。

主要实践性教学环节:认识实习、测量实习、工程地质实习、专业实习或生产实习、结构课程设计、毕业设计或毕业论文等,一般实践环节安排 40 周左右。

主要专业实验:材料力学实验、土木工程材料实验、结构实验、土质实验等。

土木工程专业的修业年限为 4 年。毕业后可授予工学学士学位。

(2) 引导性土木工程专业(目录编号:080703Y)

对学生业务的培养目标为:培养掌握各类土木工程学科的基本理论和基本知识,能在房屋建筑、地下建筑(含矿井建筑)、隧道、道路、桥梁建筑、水电站、港口及近海结构与设施、给水排水和地基处理等领域从事规划、设计、施工、管理和研究工作的高级工程技术人才。

学生业务培养要求是:主要学习工程力学、岩土工程、结构工程、市政工程、给水排水工程和水利工程的基本理论和知识,接受工程制图、计算机应用、专业实验、结构设计及施工实践等方面的基本训练,以及具备从事建筑工程、交通土建工程、水利水电工程、港口工程、海岸工程和给水排水工程的规划、设计、施工、管理及相关研究工作的能力。

要求毕业生获得以下几方面的知识和能力:

①具有较扎实的自然科学基础,较好的人文社会科学基础和外语语言综合能力。

②掌握工程力学、流体力学、岩土力学、工程地质学和工程制图的基本理论和基本知识。

③掌握土木工程材料、结构计算、构件设计、地基处理、给排水工程和计算机应用方面的基本知识、原理、方法与技能,初步具备从事土建结构工程的设计与研究工作的能力。

④掌握建筑机械、电工学、工程测量、施工技术与施工组织、工程监测、工程概预算以及工程招标等方面的基本知识、基本技能,初步具备从事工程施工、管理和研究工作的能力。



⑤熟悉各类土木工程的建设方针、政策和法规。

⑥了解土木工程各主干学科的前沿理论和发展动态。

⑦掌握文献检索和资料查询的基本方法,具有一定的科学研究和实际工作能力。

涉及的主要学科:力学、土木工程、水利工程。

本专业主要课程:工程力学、流体力学、土力学、土木工程材料、地基与基础、工程地质学、工程水文学、工程制图、计算机应用、土木工程材料、混凝土结构、钢结构、工程结构、给水排水工程、施工技术与管理。

主要实践性教学环节:工程制图、认识实习、测量实习、工程地质实习、专业实习或生产实习、结构课程设计、毕业设计或毕业论文等,一般实践环节安排 40 周左右。

主要专业实验:材料力学实验、土木工程材料实验、结构实验、土质实验等。

土木工程专业的修业年限为 4 年。毕业后可授予工学学士学位。

### 1.3.1.2 土木工程师的职业发展与继续教育

随着城市建设和公路建设的不断升温,土木工程专业的就业形势近年来持续走好。土木工程专业可分为道路桥梁、建筑工程、岩土工程等几个不同的专业方向,在这些专业方向的职位既有大体上的统一性,又有细节上的具体区别。总体来说,土木工程专业的主要就业方向有以下几种。

#### (1)工程技术方向

代表职位:结构工程师、岩土工程师、建造师、技术经理、项目经理等。代表行业:建筑施工企业、房地产开发企业、路桥施工企业等。

随着我国执业资格认证制度的不断完善,土木工程师不但需要精通专业知识和技术,还需要取得必要的执业资格证书。土木工程师的相关执业资格认证主要有:全国一级、二级注册建筑师,全国一级、二级注册结构工程师,全国一级、二级注册建造师等。

#### (2)设计、规划及预算方向

代表职位:项目设计师、城市规划师、预算工程师等。代表行业:工程勘察设计公司、房地产开发企业、交通或市政工程类企业、工程造价咨询机构等。

各种勘察设计院对工程设计人员的需求近年来持续增长,城市规划作为一种新兴的职业,随着城市建设的不断发展深入,也需要更多的现代化设计规划人才。随着咨询业的兴起,工程预决算等建筑行业的咨询服务人员也成为土建业内新的就业增长点。这类土木工程师不仅要稍通专业知识,更要求有足够的大局观和工作经验。

#### (3)质量监督及工程监理方向

代表职位:监理工程师等。代表行业:建筑、路桥监理公司,工程质量检测监督部门等。

工程监理是近年来新兴的一个职业,随着我国对建筑、路桥施工质量监管的日益规范,监理行业自诞生以来就面临着空前的发展机遇,并且随着国家工程监理制度的日益完善有了更加广阔的发展方向。一般来说,专业监理工程师需要取得省级监理工程师上岗证,总监理工程师需要取得国家注册监理工程师执业资格证。

执业资格制度是市场经济国家对专业技术人才管理的通用规则。我国于 1990 年开始推行执业资格制度。1992 年建设部发布了《监理工程师资格考试和注册试行办法》,从而拉开了建筑行业推行执业资格制度的序幕。现已实行的与土木工程专业相关的主要有:注册结构工程师、监理工程师、造价工程师、建造师、岩土工程师等,基本形成了中国特色的建筑领域执业资格制度。

我国法律规定,建筑专业人员须在各自专业范围内参加全国组织的统一考试,获得相应的执业

资格证书,经注册后才能在资格许可范围内执业。这是我国强化市场准入制度,提高工程建设水平的重要举措。土木工程专业主要执业资格制度如下:

①报考条件是执业资格制度的基础,直接限制了考试参与范围与从业人员的学历水平和从业经历,如表 1-1 所示。

表 1-1 土木工程相关执业资格考试的报考条件

序号	名称	报考条件
1	结构工程师	取得土木工程专业工学学士学位,职业实践时间满 4 年
2	一级建造师	取得土木工程类大学本科学历,从事建设工程项目施工管理工作满 3 年
3	监理工程师	具有工程技术高级专业职务,或取得工程技术专业中级职务并任职满 3 年
4	造价工程师	工程或工程经济类本科毕业,从事工程造价业务工作满 5 年
5	土木工程师(岩土)	取得土木工程专业大学本科学历,累计从事岩土工程专业工作满 5 年

②考试科目直接反映执业资格的考核要求,决定了执业资格的特色与执业范围,如表 1-2 所示。

表 1-2 土木工程相关执业资格考试的考试科目

序号	名称	考试科目
1	结构工程师	基础考试含“结构力学”等 17 个科目,专业考试含“钢筋混凝土”等 9 个科目
2	一级建造师	“建设工程经济”“建设工程法规及相关知识”“建设工程项目管理”“专业工程管理与实务”
3	监理工程师	“工程建设合同管理”“工程建设质量、投资、进度控制”“工程建设监理基本理论和相关法规”“工程建设监理案例分析”
4	造价工程师	“工程造价管理基础理论与相关法规”“工程造价计价与控制”“建设工程技术与计量”“工程造价案例分析”
5	土木工程师(岩土)	基础考试含“土力学”等 16 个科目,专业知识考试含“工程地质”等 8 个科目

③执业范围指相关执业资格所主要从事的工作活动内容与领域,如表 1-3 所示。

表 1-3 土木工程相关执业资格执业范围

序号	名称	执业范围
1	结构工程师	结构工程设计;结构工程设计咨询,建筑物、构筑物、工程设施等调查和鉴定,对本人主持设计的项目进行施工指导和监督等
2	一级建造师	担任建设工程项目施工的项目经理,从事其他施工活动的管理,从事国务院行政主管部门规定的其他业务
3	监理工程师	工程监理、工程经济与技术咨询、工程招标与采购咨询、工程项目管理服务以及国务院有关部门规定的其他业务
4	造价工程师	投资估算、概算、预算、结(决)算、标底、投标报价的编审,工程造价控制,工程经济纠纷的鉴定,与工程造价有关的其他事项
5	土木工程师(岩土)	岩土工程勘察与设计,岩土工程咨询与监理,岩土工程治理,检测与监测,环境岩土工程和与岩土工程有关的水文地质工程业务等

继续教育是指已经脱离正规教育,已参加工作和负有成人责任的人所接受的各种各样的教育,是对专业技术人员进行知识更新、补充、拓展和能力提高的一种高层次的追加教育。继续教育是人类社会发展到一定历史阶段出现的教育形态,是教育现代化的重要组成部分。在科学技术突飞猛进、知识经济已见端倪的今天,继续教育越来越受到人们的高度重视,在社会发展过程中所起到的推动作用,特别是在形成全民学习、终身学习的学习型社会方面所起到的推动作用,越来越显现出来。

继续教育是一种特殊形式的教育,主要是对专业技术人员的知识和技能进行更新、补充、拓展和提高,进一步完善知识结构,提高创造力和专业技术水平。在知识经济时代,继续教育是人才资源开发的主要途径和基本手段,重点是开发人才的潜在能力。提高队伍整体素质,是专业技术队伍建设的重要内容。

通过执业资格考试,获得合格证书,注册成为执业工程师之后,并不意味着专业学习的结束。按照全国注册建筑师、注册工程师管理委员会、注册工程师岩土专业管理委员会的有关规定,注册建筑师在两年注册有效期内应达到 40 学时的必修课程和 40 学时的选修课程的继续教育培训,注册结构工程师、注册土木工程师(岩土)在 3 年注册有效期内应达到 60 学时的必修课程和 60 学时的选修课程的继续教育培训,否则不予办理延续注册手续。通过继续教育,土木工程师的知识得到及时更新。

### 1.3.2 土木工程专业课程体系

#### 1.3.2.1 土木工程专业课程设置

课程分为公共基础课、专业基础课和专业课。

课内总学时一般控制在 2500 个学时左右,公共基础课一般占 50%,专业基础课和专业课分别占 30%和 10%左右。总学时中的 10%,由各院校根据自己的情况,分别安排在上述三部分课程中。

课程性质分为必修课、选修课(含限定选修课和任意选修课)。以下所列课程名后加“\*”者,一般应作为必修课开设,但可以将所建议的必修课的内容重组在其他课程中。本方案中未加“\*”者,可作为选修课,由各院校决定是否开设。课程总量中,至少应有 10%的课程为选修课程。建议课程如下:

##### (1)公共基础课

①人文社会科学类课程:马克思主义哲学原理\*、毛泽东思想概论\*、邓小平理论和“三个代表”重要思想概论\*、法律(法律基础\*、土木工程建设法规)、经济学(政治经济学、经济学或工程经济学)、管理学、语言(大学英语、大学语文或科技论文写作)、文学与艺术、伦理(工程职业伦理、品德修养\*)、心理学或社会学(公共关系学)、历史。

②自然科学类课程:高等数学\*、工程数学\*(线性代数、概率与数理统计)、物理\*、物理实验\*、化学\*、化学实验、环境科学、信息科学、现代材料学。

③其他公共类课:体育\*、军事理论\*、计算机文化\*、计算机语言与程序设计\*。

##### (2)专业基础课

专业基础课构成了土木工程专业共同的专业平台,为学生在校学习专业课程和毕业后在专业的各个领域继续学习提供坚实的基础。这部分课程包括了工程力学、流体力学、结构工程学、岩土工程学的基础理论以及从事土木工程设计、施工、管理所必需的专业基础理论。

专业基础课程:工程力学(理论力学、材料力学)\*、结构力学\*、流体力学(水力学)\*、土力学\*、



工程地质\*、土木工程概论\*、土木工程材料\*、土木工程制图\*、工程测量\*、荷载与可靠性设计原理\*、混凝土结构设计原理\*、钢结构设计原理\*、基础工程\*、土木工程施工\*、建设项目管理\*、工程概预算\*。

### (3) 专业课

专业课可按课群组的形式设立,课群组的设置方式应与本专业的业务范围相对应,各院校应设置不少于3个课群组。各课群组的内容一般应包含工程项目的规划、选型或选线设计、结构设计、施工、检测或试验等课程和相关的课程设计、专业实习等内容。设置课群组的目的,是使学生通过学习和训练,学会应用由专业基础课程学得的基本理论,进一步深入掌握专业技能,建立初步的工程经验。

各院校的专业课课群组的设置应反映本校特色。

本科生的专业课学习应在选读一个课群组基础上,选读跨越两个或两个以上课群组的有关课程。

### 1.3.2.2 实践教学环节

实践教学环节是土木工程教育中非常重要的环节,在现代工程教育中占有十分重要的位置,是培养学生综合运用知识、动手能力和创新精神的关键环节,它的作用和功能是理论教学所不能替代的。各校要注意把实践教学的改革纳入整个教学内容、课程体系的改革当中,发挥整体教育功能。

#### (1) 实践教学环节的主要内容和学时

基础与专业实践教学环节包括计算机应用、实验、实习、课程设计和毕业设计(论文)等类别。总学时一般安排在40周左右。土木工程专业的实践教学环节均为必修,不允许免修。

①计算机应用类:计算机上机实习,可结合在各种课程教学和设计类教学过程中,总实习学时不少于200个学时。

②实验类:大学物理实验、力学实验、材料实验、土工实验、结构实验。

③实习类:认识实习、测量实习、地质实习、生产实习、毕业实习。

④课程设计类:勘测、房屋建筑类课程设计、结构类课程设计、工程基础类课程设计、施工类课程设计。

⑤毕业设计(论文):一般不少于12周。

#### (2) 主要实践教学环节的基本要求

①计算机实习类:了解计算机文化基础、算法与数据结构,熟悉数字系统与计算机原理、掌握计算机实用软件基础。掌握与各门课程有关的工程软件应用方法,熟悉CAD制图。

②实验类:了解所学课程的实验方法,正确使用仪器设备。训练实验动手能力,培养科学实验及创新意识。掌握一般结构实验的基本方法,初步具备结构检验的技能。

③实习类:掌握各项实习内容及有关的操作和测量技能,能初步应用理论知识解决工程实际问题。了解土木工程师的工作职责范围,参与部分或全部工作。了解土木工程师的项目管理,正确使用我国现行的施工规范和规程。

④课程设计类:了解与土木工程有关的法规和规定。了解工程师的工作过程和工作职责,了解设计过程中各工种之间的配合原则。

### 1.3.3 土木工程专业课程主要教学方法及学习建议

大学的教学和训练与中学相比要多样化一些,主要的教学形式有课堂教学、实验课、设计训练

和施工实习。下面就这几个环节作简要介绍:

#### (1) 课堂教学

课堂教学是学校学习的最主要的形式,即通过老师讲授、学生听课而学习。大学的课堂教学与中学也有所区别,一是进度快、内容多,中学时很薄的一册课本讲得很仔细,反复讲、反复练;大学中很厚的一册书,很快就讲过去了,要注意适应。二是中学班级小,常按班上课,几十个人一个班,老师认识每一个学生;大学许多课程按专业甚至按系上课,大课堂有2~4个班上课是常事,老师未必熟悉每一个同学,听课效果好坏,主要靠学生自主努力。三是中学的教学内容是成熟的经典理论,变化很小;而大学教学,必须随时代发展增添新的内容,有时教材上还未编入的内容教师只能根据资料讲解,这时要注意听讲并做必要的记录。

听课堂教学时,要注意记住老师讲授的思路、重点、难点和主要结论。大学生一般在课堂上做一些笔记,以记下老师讲课的内容,有的学生记得很详细,几乎一字不漏;有的只记要点、难点和因果关系。建议采用后者,甚至可在教材的空白处旁记,并用自己约定的符号在书上画出重点和其他内容之间的联系。

与大班课堂讲授相配套的可能还有一些小班的讨论课、习题课,以对课程的重点或难点加深理解。参加这样的课时,同学们一定要积极思考,主动参加讨论,这不仅能巩固和加深所学知识,也是对表达能力的一种训练。

课堂教学后,要复习巩固,整理笔记,做到能用自己的语言表达所学内容。对于不懂的问题不要放过,可独立思考,也可与同学切磋,仍然不懂时,可记下来,适当的时候找老师答疑讨论。

#### (2) 实验教学

通过实验手段掌握实验技术,弄懂实验原理。其中,物理、化学等均开设实验课,这与中学时差别不大,不过内容更加现代化,方法更先进了。在土木工程专业中还开设材料试验、结构检验的实验课,这不仅是学习基本理论的需要,同时也是同学们熟悉国家有关试验、检测规程,熟悉实验方法及学习撰写试验报告的需要。不要有重理论、轻实验的思想,应认真做好每一次试验,并鼓励学生自主设计、规划试验。

#### (3) 设计训练

任何一个土木工程项目确定以后,首先要进行设计,然后才交付施工。设计是综合运用所学的知识,提出自己的设想和技术方案,并以工程图及说明书来表达自己的设计意图,从根本上培养学生自主学习、自主解决问题的能力。

设计土木工程项目一定会受到多方面的约束,而不像单科习题那样只有一两个已知条件,这种约束不仅有科学技术方面的,还有人文经济等方面的。使土木工程项目“满足功能需要,结构安全可靠,成本经济合理,造型美观悦目”是设计的总体目的,要做到这一点必须综合运用各种知识,而其答案也不是唯一的,这对培养学生的综合能力、创新能力有很大作用。

#### (4) 施工实习

贯彻理论联系实际的原则,让学生到施工现场或管理部门去学习生产技术和知识,通常一个工地往往很难容纳一个班(几十人)的学生,因此,施工实习常在统一要求下分散进行。这不仅是对学生能否在实践中学习知识技能的一种训练,也是对学生的敬业精神、劳动纪律和职业道德的综合检验。

主动、认真地进行施工实习,虚心地向工地工人、工程技术人员请教,可以学到在课堂上学不到的许多知识和技能;但如果马马虎虎,仅为完成实习报告而走过场,则会白白浪费自己宝贵的时间。能否成为土木工程方面的优秀人才,施工实习至关重要。

在大学学习期间,学生应养成良好的学习方法。第一,学生应结合自己的特点、兴趣和志向,逐步明确今后的发展方向,选好学习课程,安排好学习时间。第二,自学能力是其他各种能力的基础。因此,在大学学习期间除了要学习各种知识外,还必须培养自己的自学能力,两者不可偏废。应该在学习的不同阶段,循序渐进地培养通过自学掌握知识的能力、通过自学获取知识的能力和通过自学在获取知识的基础上进行创新思维的能力。土木工程专业往往过多强调逻辑思维,而美术和音乐等艺术专业则是着重创造思维和形象思维。两种方法的结合,往往是激发科技创新思维的很好途径。因此,在大学学习过程中也应选修艺术和美学方面的课程,接受这方面的熏陶,对激发土木工程师的创新意识大有好处。

### 本章小结

(1)土木工程是建造各类工程设施的科学技术的统称。它不但包括所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养维修等技术活动,还包括工程建设的对象,即建造在地上或地下、陆上或水中,直接或间接为人类生活、生产、军事和科学服务的各种工程设施。

(2)土木工程经历了古代、近代和现代三个发展阶段,土木工程由原始走向成熟,由成熟走向现代高新技术。

(3)未来土木工程发展随着人类技术的不断进步会有巨大的飞跃。

### 独立思考

- 1-1 简述我国土木工程有哪些伟大成就。
- 1-2 简述科学技术和工程的异同。
- 1-3 土木工程有几个发展阶段?其特征各是什么?
- 1-4 你在入学前的职业意向和本专业培养目标一致吗?如果一致,你准备怎样实现培养目标?如果不一致,你准备怎样进行调整?
- 1-5 你为什么报考土木工程专业?你所了解到的学习本专业后未来从事的职业是什么?谈谈自己对未来的设想。
- 1-6 我国现阶段土木工程执业资格考试有哪些?有什么报考条件?对应的执业范围是什么?

### 参考文献

- [1] 李毅. 土木工程概论. 武汉:华中科技大学出版社,2008.
- [2] 刘伯权. 土木工程概论. 北京:科学出版社,2012.
- [3] 徐礼华. 土木工程概论. 武汉:武汉大学出版社,2005.
- [4] 曾光廷. 现代新型材料. 北京:中国轻工业出版社,2006.
- [5] 周新刚. 土木工程概论. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [6] 易成,沈世钊. 土木工程概论. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [7] 丁大均,蒋永生. 土木工程概论. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [8] 叶志明. 土木工程概论. 北京:高等教育出版社,2009.

## 2 土木工程材料

### 【内容提要】

本章主要内容为土木工程材料的分类与性质以及常用土木工程材料的基本知识,目的是让学生通过学习其基本性质,了解土木工程基本性质与工程特性的关系。本章教学的重难点为土木工程材料的基本性质。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应掌握土木工程材料的基本性质,熟悉钢材和混凝土的特性,了解土木工程材料的分类及其他工程材料的有关内容。

任何土木工程建(构)筑物(包括道路、桥梁、港口、码头、矿井、隧道等),都是用材料按一定的要求打造而成的,土木工程中所使用的各种材料统称为土木工程材料。

土木工程材料将直接影响建(构)筑物的性能、功能、寿命和经济成本,从而影响人类生活空间的安全性、方便性、舒适性。

土木工程材料的发展一直伴随着人类社会和文明的发展而进步。人类最早是穴居巢处,进入石器时代后,才开始利用土、木、石等天然材料从事营造活动。其主要表现为挖土凿石为洞,伐木搭竹为棚。随着人类文明的进步和社会生产力的发展,人类进而开始利用天然材料进行简单加工,砖、瓦等人造土木工程材料相继出现,对这一类材料的使用一直延续到今天。17世纪70年代,人类开始在土木工程中使用生铁。19世纪初,开始把熟铁用于土木建设中。19世纪20年代,随着波特兰水泥的发明,混凝土材料开始大量使用。19世纪中叶开始,建筑钢材开始出现于建筑历史上。钢筋混凝土、预应力混凝土材料随之出现,并很快成为建筑材料的主流。

随着人类社会的进步和发展,需要有效地利用地球上的有限资源和能源,全面改善人类工作与生活环境,迅速地扩大人类的生存空间,以满足越来越高的安全、舒适、美观、耐久的要求。实现土木工程的可持续发展,将成为土木工程面临的新挑战,也对土木工程材料提出了更多和更高的要求。

### 2.1 土木工程材料的分类与性质

#### 2.1.1 土木工程材料的分类

由于土木工程材料种类繁多,为了研究、使用和论述方便,常从不同角度对它进行分类。最通常的是按材料的化学成分及其使用功能分类,如图2-1所示。

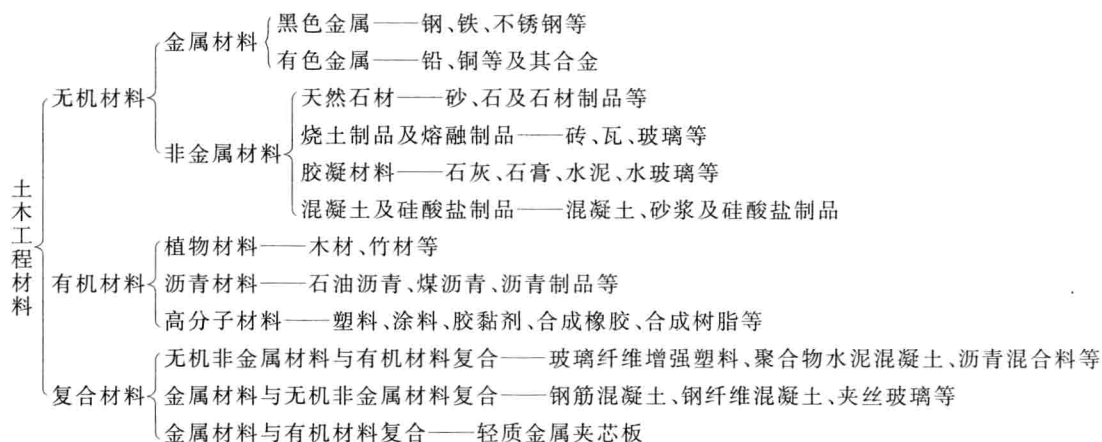


图 2-1 土木工程材料的分类

### 2.1.2 土木工程材料的性质

土木工程材料是土木工程的物质基础,材料的性质与质量在很大程度上决定了工程的性能与质量。在工程实践中,选择、使用、分析和评价材料,通常是以其性质为基本依据的。土木工程材料的性质,可分为物理性质、力学性质和耐久性。

#### (1) 材料的物理性质

##### ① 材料的密度与孔隙率。

密度是材料的质量与其体积之比。根据体积表现形式的不同,有密度、表观密度和堆积密度三种概念。密度是在绝对密实状态下,单位体积干材料的质量。表观密度是材料在自然状态下,单位体积材料的质量。堆积密度为散粒材料(粉状或粒状材料)在堆积状态下,单位体积材料的质量。形状规则的材料用量具测得体积,不规则的可用排液法或封蜡排液法测得体积。

材料的孔隙率是指材料内部孔隙的体积占材料总体积的百分率。材料孔隙率的大小反映了材料密实程度,孔隙率大,则密实度小。空隙率是散状粒材料在堆积状态下颗粒空隙占堆积体积的百分率。空隙率的大小反映了散粒材料堆积时的致密程度,与颗粒的堆积状态密切相关。

##### ② 材料与水有关的性质。

材料与水接触时,由于水在固体表面润湿状态不同,表现为亲水与憎水两种不同的性质,如果材料表面可以被水湿润或浸润,这种性质称为亲水性,具备这种性质的材料为亲水性材料。若水不能在材料的表面上铺展开,即材料表面不能被水润湿或浸润,则称为憎水性,此种材料称为憎水性材料。憎水性材料具有较好的防水性、防潮性,常用作防水材料。

材料在潮湿空气中吸收水分的性质称为吸湿性,材料的吸湿性用含水率表示。材料的吸湿性受所处环境的影响,随环境的温度、湿度的变化而变化。材料与水接触吸收水分的性质,称为吸水性。材料的吸水性用吸水率表示,有质量吸水率和体积吸水率两种。

材料耐水性指材料长期在水的作用下不破坏、强度不明显下降的性质,材料的耐水性用软化系数来表示。抗渗性指抵抗压力水渗透的性质,抗渗性用渗透系数来表示,也可用抗渗等级表示。材料的抗渗性与材料的耐久性有着非常密切的关系。材料的抗渗性越高,水及有害介质越不易进入材料内部,则材料的耐久性越高。

抗冻性指材料在含水状态下能忍受多次冻融循环而不被破坏,强度也不显著下降的性质。

##### ③ 材料的热工性质。

热工性质包括材料的导热性、耐燃性、耐火性和热变形性。

## (2) 材料的力学性质

材料的力学性质是指材料在外力作用下的表现,通常以材料在外力作用下的变形性或强度来表示。材料在外力(即荷载)作用下抵抗破坏的能力,称为强度,包括抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度。影响材料强度的因素很多。材料的组成和结构、试件的形状、尺寸、加荷速度、试件表面状况、含水状态、环境温度等对强度都有影响。

材料的变形性能用材料的弹性与塑性来表示。材料在外力作用下产生变形,当外力取消后,变形随即消失并能完全恢复到原来形状的性质,称为材料的弹性。当取消外力后,不能恢复变形,仍然保持变形后的形状和尺寸,并且不产生裂缝的性质,称为材料的塑性。此外,还可用脆性和韧性来表示材料的抗冲击能力。材料受外力作用,当外力达到一定限度后,材料突然破坏,但破坏时没有明显塑性变形的性质,称为材料的脆性。材料在冲击或振动荷载作用下,能吸收较大能量,产生较大变形而不致破坏的性质,称为材料的韧性。

## (3) 材料的耐久性

材料的耐久性是指在长期使用过程中,材料能抵抗环境的破坏作用,并保持原有性质不变、不破坏的一项综合性质。由于环境作用因素复杂,耐久性也难以用一个参数来衡量。工程上通常用材料抵抗使用环境里主要影响因素的能力来评价耐久性,如抗渗性、抗冻性、抗老化和抗碳化等性质。

# 2.2 常用土木工程材料简介

## 2.2.1 钢材

钢材是土木工程中应用量最大的金属材料,它广泛应用于铁路、桥梁、建筑工程等各种土木工程中。土木工程使用的钢材可划分为钢结构用钢材(型材)和钢筋混凝土用钢材(线材)两大类。型材主要指轧制成的各种型钢、钢轨、钢板、钢管等。线材主要指钢筋、钢丝等。

钢材是在严格的技术控制条件下生产的,品质均匀致密,抗拉、抗压、抗弯、抗剪切强度都很高。钢材具有良好的加工性能,可以锻造、锻压、焊接、铆接和切割,便于装配。钢材在常温下能承受较大的冲击和振动荷载,有一定的塑性和很好的韧性。其缺点是易锈蚀、耐火性差、维修费用高等。

土木工程所用钢材大多为低碳钢和低合金钢。普通低合金结构钢一般是在普通碳素钢的基础上,添加少量稀有金属元素(如硅、锰、钒、钛、铌等)而成。加入这些元素可使钢材的强度、耐腐蚀性、耐磨性、低温冲击韧性等得到显著的提高和改善,因此采用低合金钢可减轻结构自重,加大结构跨度,节约钢材用量。

钢材的力学性能主要有抗拉性能、冷弯性能、冲击韧性、耐疲劳性、硬度等。抗拉性能是钢材的主要性能,通过拉力试验可得到钢材的伸长率、屈服强度、抗拉强度等主要技术指标。钢材的冷弯性能是指钢材在常温下承受弯曲变形的能力,是钢材的工艺性能指标。冲击韧性反映了钢材抵抗冲击荷载的能力。钢材在往复荷载作用下,往往在其内部应力远远低于相应屈服强度时突然破坏,这种破坏称为钢材的疲劳破坏,故当结构构件受到往复作用时,应考虑钢材的抗疲劳性能。钢材硬度指钢材抵抗比它更硬的物体压入时局部变形的能力。

钢材使用前,在常温下进行加工,其性能会发生一些变化,这种加工过程称为冷加工。通过冷加工可以提高钢材屈服强度,节约钢材,但冷加工往往使钢材的塑性、韧性及弹性模量降低。土木



工程中常用的冷加工形式有冷拉、冷拔和冷轧。冷拉是在常温下将钢材拉伸至超过其屈服强度(但要低于其抗拉强度),使钢材产生一定的塑性变形的钢材加工工艺。若钢材冷拉卸载后立即重新加载,钢材的屈服强度提高到前次拉伸的应力值。若将拉伸后的钢材在常温下存放 15~20d 或在 100~200℃ 条件下存放很短时间,然后重新拉伸,其屈服强度得到进一步提高,这一现象称为时效。前者为自然时效,后者为人工时效。冷拔是将低碳钢丝(直径在 6mm 以下的盘条)从孔径略小于被拔钢丝直径的硬质拔丝模中强力拔出,使钢丝断面减小,长度伸长的工艺过程。冷轧是使低碳钢丝通过硬质轧辊,在钢丝表面轧制成扎痕呈一定规律分布的钢筋的加工工艺。钢丝经过冷拔和冷轧处理后,其强度、硬度明显提高,但塑性、韧性明显降低。

除冷加工外,还可按照一定方式对钢材进行加热、保温、冷却,从而改变钢的晶体组织、微观结构或消除由于冷加工在材料内部产生的内应力,改变钢材力学性能。常用热处理方式包括淬火、回火、退火、正火等。

采用各种型钢和钢板制作的钢结构,具有自重小、强度高等优点。钢筋与混凝土组成的钢筋混凝土结构,虽然自重大,但可节省钢材,并且由于混凝土的保护作用,克服了钢材易锈蚀、维护费用高的缺点。

根据土木工程中采用钢材的不同类型,可以考虑不同的钢材连接方式。型钢和钢板的连接方式主要有焊接连接、铆钉连接、螺栓连接三种方式。钢筋的连接方式有绑扎连接、焊接连接和机械连接。

## 2.2.2 混凝土

### (1) 混凝土的定义

混凝土材料已经成为现代社会文明的物质基础。在日常生活中,几乎随时随地可见混凝土,如城市住宅、办公楼、道路、铁路轨枕、飞机场跑道、水库大坝等。目前全世界每年混凝土的生产量已达到  $9.0 \times 10^9$  t 左右,是当今社会使用量最大的建筑材料。

广义的混凝土是由胶凝材料、骨料和水,必要时掺入化学外加剂和矿物质混合材料,按适当比例配合、拌制成拌和物,经硬化而成的人造石材。

普通混凝土是以水泥作为胶凝材料、石子和砂作为粗细骨料和水,必要时掺入化学外加剂和矿物质混合材料,按适当比例配合、拌制成拌和物,经硬化而成的人造石材。它也是工程中应用最为广泛的。在混凝土中,砂、石起骨架作用,称为骨料;水泥与水形成水泥浆,水泥浆包裹在骨料表面并填充其空隙。在硬化前,水泥浆起润滑作用,赋予拌和物一定的和易性,便于施工。水泥硬化后,则将骨料胶结为一个坚实的整体。

### (2) 混凝土的分类

混凝土的种类很多。按胶凝材料的不同,分为普通混凝土(水泥混凝土)、沥青混凝土、石膏混凝土和聚合物混凝土等;按密度的不同,其分为重混凝土( $\rho > 2600 \text{ kg/m}^3$ )、普通混凝土( $\rho = 1950 \sim 2600 \text{ kg/m}^3$ )和轻混凝土( $\rho < 1950 \text{ kg/m}^3$ );按使用功能不同,其分为结构用混凝土、道路混凝土、水工混凝土、耐热混凝土及防辐射混凝土等。

为了克服混凝土抗拉强度低的缺陷,水泥混凝土还可与其他材料复合,形成钢筋混凝土、预应力混凝土、纤维混凝土及聚合物浸渍混凝土等。

### (3) 混凝土材料的作用与特点

混凝土材料具有以下性能与特点:

① 原材料丰富、成本低,砂石等材料占 80% 以上,可以就地取材,价格便宜。

②利用模板可浇筑成任意形状、尺寸的构件或整体结构。

③抗压强度较高,并可根据需要配制不同强度的混凝土。传统的混凝土抗压强度为 20~40MPa,近 20 年来,混凝土向高强方向发展,60~80MPa 的混凝土已经应用于工程中,实验室已经能够配制出 100MPa 以上的高强混凝土。

④与钢筋有牢固的黏结力,可形成钢筋混凝土结构。利用钢材抗拉强度高的优势弥补混凝土脆性弱点,利用混凝土的碱性保护钢筋不生锈。

⑤具有良好的耐久性。木材易腐朽,钢材易生锈,而混凝土在自然环境下使用,其耐久性比木材和钢材优越得多。

尽管混凝土材料存在着诸多优点,但也存在着一些不可克服的缺点。混凝土的自重大,比强度低,属刚性材料,抗拉强度低。施工较复杂,工序多,硬化速度慢,生产周期长,结构构件易产生裂缝。

#### (4)混凝土的材料组成及要求

组成水泥混凝土的原材料主要有水泥、砂、石、水和外加剂等。

##### ①水泥。

水泥是混凝土中的胶凝材料。水泥与水形成水泥浆,水泥浆包裹砂、石颗粒并填充其空隙。硬化前,水泥浆起润滑作用,保证混凝土施工的和易性。硬化后,将砂、石胶结成坚硬整体,形成混凝土的强度。水泥品种有 5 大类:硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和火山灰硅酸盐水泥。不同品种水泥可制成不同用途的混凝土。

##### ②砂(细骨料)。

混凝土中凡粒径为 0.6~5mm 的骨料称为细骨料,即人们通常所说的砂。一般采用天然砂,它是岩石风化后形成的大小不等、由不同矿物散粒组成的混合物。根据产源不同,一般有河砂、海砂及山砂。配制混凝土时所用的砂质量要求有以下几个方面:有害杂质含量不能超过一定限量;对重要工程的混凝土用砂,应进行砂子的碱活性检验;为保证混凝土的密实度和强度,拌和混凝土应优先选用级配良好的粗、中砂为细骨料;对于有抗疲劳、耐磨、抗冲击要求的混凝土用砂或处于含有腐蚀介质的水中,并经常处于水位变化区的地下结构混凝土用砂,其坚固性应符合规范要求。

##### ③石(粗骨料)。

混凝土中凡颗粒粒径大于 5mm 的骨料为粗骨料,常用的粗骨料有碎石和卵石。碎石大多由天然岩石经破碎筛分而成,其表面粗糙,有利于与水泥黏结,但流动性差。碎石是建筑工程中用量最大的粗骨料。

卵石是由天然岩石经自然条件长期作用而形成的。根据产源不同,一般有河卵石、海卵石及山卵石。其中以河卵应用较多,卵石经河流冲刷,比较圆滑,流动性好,但与水泥石的黏结性较差。在相同条件下卵石混凝土的强度较碎石混凝土低。

##### ④混凝土拌和及养护用水。

拌和及养护混凝土的用水,不得含有影响混凝土凝结与硬化的有害杂质,如油脂等;不得有有损于混凝土强度发展及耐久性的因素;不能加快钢筋锈蚀,不引起预应力钢筋脆断,如海水中含有硫酸盐等,对水泥有侵蚀作用,对钢筋也会产生锈蚀,故一般不得用海水拌制混凝土。一般凡能饮用的自来水和清洁的天然水,都能用来拌制和养护混凝土。

##### ⑤外加剂。

混凝土外加剂是指在拌制混凝土过程中掺入的用以改善混凝土性能的物质,除特殊情况外,其掺量不大于水泥重量的 5%。常用的外加剂有减水剂、引气剂、早强剂、缓凝剂等。



### (5) 水泥混凝土的主要技术性质

①和易性。和易性又称工作性,是指混凝土拌和物在一定施工条件下,便于各种施工工序的操作,以保证获得均匀密实的混凝土的性能。和易性是混凝土拌和物最重要的性能,是一项综合性技术指标,主要包括流动性、黏聚性和保水性三个方面。它综合表示拌和物的稠度、流动性、可塑性、抗分层离析泌水的性能及易抹面性等。测定和表示拌和物和易性的方法和指标很多,我国主要采用坍落筒测定的坍落度(mm)及用维勃仪测定的维勃时间(s),作为稠度的主要指标。

②强度。强度是混凝土硬化后的主要力学性能,反映混凝土抵抗荷载的量化能力。混凝土强度包括抗压、抗拉、抗剪、抗弯、抗折及握裹强度,其中以抗压强度最大,抗拉强度最小。水灰比、水泥品种和用量、集料的品种和用量以及搅拌、成型、养护,都直接影响混凝土的强度。混凝土按标准抗压强度(以边长为150mm的立方体为标准试件,在标准养护条件下养护28d,按照标准试验方法测得的具有95%的保证率的立方体抗压强度)划分的强度等级,称为标号,分为C10、C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80、C85、C90、C95、C100共19个等级。混凝土的抗拉强度仅为其抗压强度的1/20~1/10。提高混凝土抗拉强度与抗压强度的比值是混凝土改性的重要方面。

③混凝土的耐久性。混凝土的耐久性是指混凝土在长期内外不利使用环境条件影响下,经久耐用的性能。混凝土耐久性的好坏,决定混凝土工程的寿命。它是混凝土的一个重要性能,因此长期以来受到人们的高度重视。混凝土的耐久性是一个综合性概念,具体有抗渗性、抗冻性、抗侵蚀性、抗碳化反应、抗碱-骨料反应等。

### 2.2.3 砌体

砌体是用砖砌体、石砌体或砌块砌体建造的结构,又称砖石结构。由于砌体的抗压强度较高而抗拉强度很低,因此,砌体结构构件主要承受轴心或小偏心压力,而很少受拉或受弯,一般民用和工业建筑的墙、柱和基础都可采用砌体结构。在采用钢筋混凝土框架和其他结构的建筑中,常用砖墙做围护结构。

#### (1) 砌墙砖

砖是房屋建筑中的主要墙体材料,其外形多为长方体,尺寸多为240mm×115mm×53mm。砖按照生产工艺不同分为烧结砖和非烧结砖。烧结砖是以黏土、页岩、煤矸石、粉煤灰为主要原料,经过焙烧而成的长方体块体。非烧结砖一般是以硅质材料(如粉砂、粉煤灰)和钙质材料(如石灰、石膏)为主要原料,加入少量水泥或石灰作固化剂,再加入微量外加剂和适量水混合搅拌压制成型,自然养护或蒸养一定时间即成的块体材料。

烧结普通砖具有较高的强度,又因多孔结构而具有良好的绝热性、透气性和稳定性,还具有较好的耐久性、隔热、保温等性能,加上原料广泛、工艺简单,是应用历史最长、应用范围最为广泛的砌体材料之一。广泛用于砌筑建筑物的墙体、柱、拱、烟囱、窑身、沟道及基础等。烧结黏土砖由于在生产中存在着取土量大、能耗高、自重大,施工效率低及抗震性差等缺点,将逐渐被各种空心砖、新型非黏土实心砖代替。

烧结普通砖上一般为无孔洞,或有孔洞但孔洞率小于15%。烧结多孔砖和烧结空心砖是烧结普通黏土砖的换代产品。使用空心砖或多孔砖可使建筑物减轻自重、改善墙体保温性能、提高使用面积系数。孔洞率不小于15%,孔的尺寸小而多的砖称为多孔砖,主要用于承重部位的砌筑。孔洞率等于或大于35%、孔的尺寸大而数量少的砖称空心砖,主要用于非承重部位的砌筑。

#### (2) 墙用砌块

砌块是近年来迅速发展起来的一种砌筑材料,除用于砌筑墙体外,还可用于砌筑挡土墙、高速公路路障及其他砌块构筑物。我国目前使用的砌块品种很多,其分类方法也不同。按用途可分为承重砌块和非承重砌块;按有无孔洞可分为实心砌块(无孔洞或空心率小于25%)和空心砌块(空心率大于25%);按材质又可分为硅酸盐砌块、轻骨料混凝土砌块、混凝土砌块等。

混凝土小型空心砌块是以水泥为胶凝材料,砂石为骨料,加水搅拌、振动加压成型,经养护而成的具有一定空心率的砌体材料。它具有强度高、自重轻、砌筑方便、墙面平整度好、施工效率高等优点,尤其适用于多层建筑的承重墙体及框架结构填充墙。

轻集料混凝土小型空心砌块,是以水泥为胶凝材料,炉渣等工业废渣为轻骨料加水搅拌、振动成型,经养护而成的具有较大空心率的砌体材料。它具有自重轻、施工方便、砌筑效率高等优点,可用于框架结构的填充墙,各类建筑非承重墙及一般低层建筑墙体。

蒸压加气混凝土砌块是以碳质材料和硅质材料为基本原料,并加入适量发气剂,经蒸压养护等工艺制成的一种多孔轻质的墙体材料。它具有容重轻、保温隔热性能好的特点,多用于多层及高层建筑的分户墙、分隔墙和框架结构的填充墙及三层以下的房屋承重墙。

石膏空心砌块是以高强度石膏粉为主要原料,加入适量功能性掺料及化学外加剂配料混合,浇注成型,机械抽芯,干燥养护制成的轻质石膏墙体材料。它具有质轻、耐火、可锯、可刨、安装简便、施工快捷等特点,宜用于高层框架轻板结构及各种危房改造、房屋加层、大开间分隔等内隔墙。

### (3) 新型墙体材料的发展

砌体材料主要用于砌筑墙体。墙体材料的改革是一个重要而难度较大的问题,发展新型墙体材料不仅是取代实心黏土砖的问题,首要是保护环境、节约资源和能源;其次是满足建筑结构体系的发展,包括抗震以及多功能;还有是给传统建筑行业带来变革性新工艺,采用工厂化、现代化、集约化施工。新型墙体材料正朝着大型化、轻质化、节能化、利废化、复合化、装饰化以及集约化等方向发展。墙体材料除砖与砌块外,还有墙用板材。

## 2.2.4 木材

木材具有轻质高强、弹性和韧性好、耐冲击、导热性低、装饰性强等优点,是土木工程的常用材料。按照加工木材的树种,可将木材分为针叶树类和阔叶树类两大类。针叶树类木材易于加工,在工程中常用作承重构件,也可用于加工家具。阔叶树类木材材质较硬,加工难度大,常用于制作较小尺寸构件和室内装饰。

天然木材是有机材料,易于腐朽变质,故应进行防腐、防虫处理。一般采用涂刷、渗透、浸渍等方法对木材进行防腐处理;木材的防虫多与防腐同时进行,通常采用热力、压力、渗透等方法将药剂注入木材内部达到防虫效果。木材是易燃物,故应保持木材和火源的距离或设置防火墙,此外利用防火剂也可帮助木材防火。

除直接使用原木外,木材还可以加工成板方材或其他制品使用。为避免木材使用过程中发生变形和开裂,通常板方材需经自然干燥或人工干燥。自然干燥是将木材堆垛进行气干。人工干燥主要用于干燥窑法,亦可用简易的烘、烤方法。干燥窑是一种装有循环空气设备的干燥室,能调节和控制空气的温度和湿度。经干燥窑干燥的木材质量好,含水率可在10%以下。木材还可加工成胶合板、碎木板、纤维板等。

木材有很好的力学性质,但木材是有各向异性的材料,顺纹方向与横纹方向的力学性质有很大差别。木材的顺纹抗拉和抗压强度均较高,但横纹抗拉和抗压强度较低。木材强度还因树种而异,并受木材缺陷、荷载作用时间、含水率及温度等因素的影响,其中以木材缺陷及荷载作用时间两者

的影响最大。因木节尺寸和位置不同、受力性质(拉或压)不同,有节木材的强度比无节木材可降低30%~60%。在荷载长期作用下木材的长期强度几乎只有瞬时强度的一半。

### 2.2.5 其他材料

#### (1) 装饰材料

近年来,随着我国经济的快速发展,工程装饰材料,特别是建筑装饰行业发展迅猛。装饰材料作为主体结构的面层,能大大改善工程形象,使人们得到美的享受。同时,装饰材料兼有绝热、防火、防潮、吸声、隔声等功能,可起到保护主体结构、延长土木工程使用寿命的作用。

装饰材料的品种很多,并且各种材料都在逐步向多功能、多用途方向发展。因此,很难用明确的分类方法进行分类。通常按照材料的属性可将装饰材料分为装饰陶瓷、装饰玻璃、装饰石材、装饰木材、装饰砂浆等。

建筑装饰石材可分为天然石材和人造石材两种。凡是从天然岩石开采出来的,经过加工或者未加工的石材,统称为天然石材。天然石材在地壳中蕴藏量丰富,分布广泛,便于就地取材。在性能上,天然石材具有抗压强度高、耐久、耐磨等特点,在建筑立面使用天然石材,具有坚定、稳重的质感,可以取得庄重雄伟的艺术效果。建筑中常用的天然石材有花岗岩、玄武岩、大理石、石英岩等。

#### (2) 防水材料

防水材料是保证土木工程能够防止雨水、地下水及其他水分渗透的重要功能材料。常用的防水材料有沥青类防水材料、橡胶类防水材料、合成高分子防水材料等。

沥青是一种褐色或黑褐色的有机胶凝材料,是土木工程建设中不可缺少的材料,主要用于生产防水材料和铺筑路面等。沥青是憎水性材料,几乎完全不溶于水,而且本身构造致密,加之它与矿物材料表面有很好的黏结力,能紧密黏附于矿物材料表面,同时它还具有一定的塑性,能适应材料或构件的变形,所以具有良好的防水性,广泛用于土木工程的防潮、防水材料中。

合成高分子防水卷材是以合成橡胶、合成树脂或者它们两者的共混体为基料,加入适量的化学助剂和填充料等,经混炼、压延或挤出等工序加工而制成的可卷曲的片状防水材料。合成高分子防水卷材具有拉伸强度和抗撕裂强度高、断裂伸长率大、耐热性和低温柔性好、耐腐蚀、耐老化等一系列优异性能,是新型高档防水卷材。常用的合成高分子防水卷材有三元乙丙橡胶防水卷材、三元丁橡胶防水卷材、聚氯乙烯防水卷材等。

#### (3) 保温隔热材料

保温隔热材料也称绝热材料,主要用于建筑物的墙壁、屋面保温,热力管道保温,制冷工程隔热等。合理采用保温隔热材料,可以减少基本建筑材料用量,减轻围护结构自重,大幅降低能量消耗。

通常保温隔热材料是指导热系数小于 $0.23\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的材料。建筑保温隔热材料按材质可分为无机保温隔热材料和有机隔热保温材料两大类。前者一般用矿物质原料制成,呈散粒状、纤维状或多孔状构造,可制成板、片、卷材或套管等形式的制品,如矿渣棉、石棉、玻璃棉、膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、多孔混凝土等。后者是由有机原料制成的保温隔热材料,如软木、纤维板、刨花板、聚苯乙烯泡沫熟料、聚氯乙烯泡沫熟料等。

### 本章小结

(1) 土木工程材料作为土木工程的物质基础,对土木工程发展起着关键作用。

(2) 土木工程材料的基本性质。

- (3) 土木工程中常用的钢材、混凝土材料、砌体材料等在工程中的作用及应用特性。
- (4) 土木工程中其他材料的性能和应用。

### 独立思考

- 2-1 简述土木工程材料的重要性。
- 2-2 常用工程材料分为哪几类?
- 2-3 土木工程材料有哪些物理力学性质?
- 2-4 简述混凝土的特点。

### 参考文献

- [1] 刘伯权. 土木工程概论. 北京: 科学出版社, 2012.
- [2] 赵志曼. 土木工程材料. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [3] 湖南大学, 天津大学, 同济大学, 等. 土木工程材料. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [4] 苏达根. 土木工程材料. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [5] 李毅. 土木工程概论. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.
- [6] 江世永. 建筑材料. 重庆: 重庆大学出版社, 2008.

## 3 地基与基础

### 【内容提要】

本章主要内容为工程地质勘察、地基与基础的一些基本知识,目的是让学生了解工程建设程序以及与地基和基础工程相关的一些知识。本章的教学重点为岩土工程勘察内容、地基处理、浅基础和深基础;教学难点为土木工程的勘察。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应了解地壳运动的表现形式以及内力地质作用、外力地质作用的概念,地基及地基应力;熟悉岩土工程勘察的任务、分级和勘察方法;掌握特殊地基及处理方法,以及浅基础、深基础的有关内容。

### 3.1 概 述

任何土木工程建筑都建在地壳的表层,同时地壳也是建筑材料和矿产资源的主要来源地。地壳面貌的改变,是由于地球在围绕太阳和自身发生旋转运动,历经沧海桑田,受到地质作用,促使组成地球的物质成分、结构构造和表面形态不断地发生变化,形成工程性质不同的岩土体。为了使修建的工程能够正常发挥作用,达到预期的效益,不对周围的环境造成不良后果,工程技术人员必须根据实际需要深入研究地质环境,并解决土木工程中出现的工程地质问题。

#### 3.1.1 地壳运动的基本概念

地壳运动又称构造运动,主要是指由地球内力引起岩石圈的变形、变位的作用,从而使地壳产生褶皱、断裂等地质构造的运动。人们常把晚第三纪以前发生的构造运动称为古构造运动;把晚第三纪以后发生的构造运动称为新构造运动,其中有人类历史记载以来的构造运动又称为现代构造运动。地壳运动按其运动的方向分为水平运动和垂直运动。

##### (1) 水平运动

地壳或岩石圈大致沿地球表面切线方向的运动称为水平运动。它表现为岩石圈的水平挤压或水平拉伸,是形成地质构造的主要作用。水平运动最典型的例子是美国西部旧金山的圣安德烈斯大断层,断层长 1050km,伸入地面以下约 16km。断层大部分是隐蔽的,但在有些地方则留下了明显的断裂痕迹。该断层形成于侏罗纪,至今一直在运动。1882—1946 年做了 4 次定量测量,发现西盘往 NW 方向移动,平均移动速度为 1cm/a,近几年加快,平均移动速度达到 8.9cm/a。

##### (2) 垂直运动

地壳或岩石圈沿垂直于地表方向的运动称为垂直运动。它表现为岩石圈的垂直上升或下降,使岩层表现为隆起和相邻区的下降,可形成高原、断块山、凹陷、盆地和平原,还可引起海侵和海退,使海陆变迁。垂直运动典型的例子是意大利那不勒斯海岸线的变动,塞拉比斯神庙内三根大理石柱的历史变迁(图 3-1)。

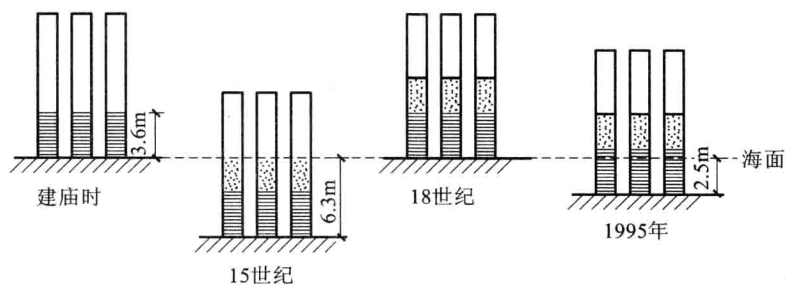


图 3-1 那不勒斯海岸三根大理石柱的历史变迁

水平运动和垂直运动是紧密联系的,在时间和空间上往往交替发生,一般情况下,地壳运动是十分缓慢的,人们一般难以察觉,如喜马拉雅山脉从海底上升到海平面以上 8000 多米的高山,每年平均才上升 2.4cm,但长期的积累却是惊人的。有时地壳运动以十分剧烈的形式表现出来,如地震和火山爆发。

### 3.1.2 地质作用的基本概念

地质作用是自然动力引起地球的物质组成、内部结构和地表形态发生变化的作用。地质作用的主要形式如图 3-2 所示。

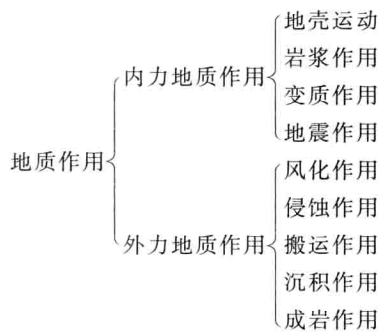


图 3-2 地质作用的主要形式

#### (1) 岩浆作用

地壳深处一种富含挥发性物质的岩浆,在地壳运动的影响下,向外部压力减小的方向移动,上升侵入地壳或喷出地面冷却凝固成岩石,这个过程称为岩浆作用,由岩浆作用形成的岩石称为岩浆岩。

#### (2) 变质作用

由于地壳运动、岩浆等的作用,先期形成的岩石受到高温、高压及化学成分加入的影响,使其在固体状态下成分、结构和构造得以改变的作用,称为变质作用,变质作用形成各种不同的变质岩。

#### (3) 地震作用

地震一般是由于地壳运动引起内部能量的长期积累,达到一定的限度而突然释放,并以弹性波的形式向四周传播时,导致地壳一定范围内的颤动,产生震撼山岳的作用。按照其成因,地震分为构造地震、火山地震、陷落地震和激发地震。

#### (4) 风化作用

风化作用是地壳表层的岩石在温度变化、大气、水和生物活动等因素影响下,发生物理变化和

化学变化,致使岩体崩解、剥落、破碎以及逐渐分解的作用。风化作用使岩石强度和稳定性大为降低并形成风化带。

#### (5) 侵蚀作用

侵蚀作用包括岩石和矿物经由媒介如水、冰、风及重力等引起其移动与瓦解。侵蚀作用可分为机械剥蚀作用和化学剥蚀作用。

#### (6) 搬运作用

岩石经风化、剥蚀破坏后的产物,被流水、风、冰川等介质搬运到其他地方的作用称为搬运作用。

#### (7) 沉积作用

被搬运的物质,由于搬运介质搬运能力的减弱,搬运介质的物理化学条件发生变化,或由于生物的作用,从搬运介质中分离出来,形成沉积物的过程。地表的许多地方都可以发生沉积作用,如山坡脚、河谷、盆地、湖泊和海洋等都是沉积物发育的地方,其中海洋是最广阔和稳定的沉积场所。

#### (8) 成岩作用

沉积下来的各种松散堆积物,在一定条件下,由于压力增大、温度升高以及受到某些化学溶液的影响,发生压密、胶结及重结晶等物理化学过程,使之固结成为坚硬岩石的作用。

自地壳形成以来,内力和外力地质作用始终是相互依存、彼此推进的。内动力地质作用形成地壳表层的基本构造形态,而外动力地质作用是破坏内动力地质作用形成的地形和产物,总是“削高填低”,形成新的沉积物,进一步塑造地表形态。地壳上升,遭受剥蚀;地壳下降,接受沉积。工程活动的地质体内留有内、外地质作用的痕迹。

## 3.2 工程地质勘察

任何工程建设都离不开岩土,或以岩土为建筑材料,或与岩土接触并相互作用。因此,了解岩土体的工程性质是工程建设的前提。要了解岩土的工程性质,只有通过岩土工程勘察。在工程实践中,不少地区都有不经勘察而盲目进行地基基础设计和施工造成工程事故的事例,同时也存在由于地质勘察不详,结果与实际不符而延误建设进度,造成大量资金浪费的现象。对于从事设计以及施工的工程技术人员来说,要重视地质勘察工作,了解勘察内容及方法,能够正确地提出勘察任务和要求,能够读懂勘察报告,进行准确设计。

### 3.2.1 工程地质勘察的概念及任务

工程地质勘察简称工程勘察(全称岩土工程勘察)是土木工程建设的基础工作,是为了查明影响工程建筑物的地质因素而进行的地质测绘、勘探、室内试验、原位测试以及室内勘察资料整理的工作统称。勘察目的是查明建设地区的工程地质条件,提出工程地质评价,为选择设计方案、设计各类建筑物、制订施工方法、整治地质灾害提供依据。

勘察任务具体包括以下几方面:

①查明区域和建筑场地的工程地质条件,指出场地内不良地质的发育情况及其对工程建设的影响,对区域稳定性和场地稳定性作出评价。

②查明工程范围内岩土体的分布、性状和地下水活动条件,提供设计、施工和整治所需的地质资料和岩土技术参数。

③分析、评价与建筑有关的工程地质问题,为建筑物的设计、施工、运行提供可靠的地质依据。



④对场地内建筑总平面布置、各类岩土工程设计、岩土体加固处理、不良地质现象的整治等具体方案作出论证和建议。

⑤预测工程施工过程中对地质环境和周围建筑物的影响,并提出保护措施的建议。指导工程在运营和使用期间的长期观测,如建筑物的沉降和变形观测。

### 3.2.2 工程地质勘察的阶段及方法

#### 3.2.2.1 岩土工程勘察阶段

岩土工程勘察应在搜集建筑物上部荷载、功能特点、结构类型、基础形式、埋置深度和变形限制等方面资料的基础上进行。建设工程的设计工作分为可行性研究阶段、初步设计阶段、施工图设计阶段,工程勘察应与设计相配合,不同设计阶段的勘察侧重解决的问题不同。岩土勘察应分阶段进行,分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察和施工勘察四个阶段。其中,可行性研究勘察应符合选择厂址方案的要求;初步勘察应符合初步设计的要求;详细勘察应符合施工图设计的要求;对于场地条件复杂或有特殊要求的工程,宜进行施工勘察。对于地质条件简单,建筑物占地面积不大的场地,或有建设经验的地区,可适当简化勘察阶段。

##### (1)可行性研究勘察

可行性研究勘察以搜集已有资料为主,并适当做些补充调查,对拟建场地的适宜性和稳定性作出评价,以便选出最佳的厂址方案。对重点工程,需要进行现场勘察,避开不良地质环境条件,已有资料不足以说明问题时,应进行工程地质测绘和必要的勘探工作。

##### (2)初步勘察

初步勘察是在可行性研究勘察的基础上,对初步选定的厂址,布置少量的勘探测试工作,对场地内建筑地段作稳定性评价,确定建筑总平面和主要建筑物地基基础方案及对不良地质作用的防治工作进行论证,满足初步设计要求。

##### (3)详细勘察

按单体建筑或建筑群进行勘察,提供详细的地质资料,对建筑地基作岩土工程评价,提出对地基类型、基础形式、地基处理、基坑支护、工程降水、不良地质作用的防治等方面的建议,满足施工图设计要求。

##### (4)施工勘察

施工勘察是配合施工进行的勘察,解决与施工有关的岩土工程问题。如对重要建筑的复杂地基,需在开挖基槽后进行验槽;开挖基槽,核实地质条件与勘察报告是否相符;地基加固方案是否合理;对施工中的斜坡失稳,需进行观测及处理等。

各类建设工程项目的工程类型不同,要求勘察的对象不同,各行业设计阶段的划分不完全一致,因此勘察阶段的划分和所采用的勘察规范不同。除公路、铁路、水利水电、港口及与其工程相对应的行业勘察规范外,其他的建设工程的工程勘察采用《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2009)。

#### 3.2.2.2 岩土工程勘察方法

岩土工程勘察方法包括:地质测绘与调查、勘探、室内试验、原位测试、现场检验与监测。

①工程地质测绘与调查:是在工程设计之前,工程地质测绘即采用搜集资料、调查访问、地质测量、遥感解译等方法,查明场地工程地质要素,并绘制相应的工程地质图件,为规划、设计、施工部门提供参考。对于地质条件简单、范围较小的场地,一般用踏勘调查代替测绘。工程地质测绘方法有



像片成图法和实地测绘法。

②勘探:是工程地质勘察的重要方法和手段,在工程地质测绘的基础上进行。经过工程地质测绘,对建筑场地范围内的工程地质诸要素在地面上的特征有了初步了解,要探明这些要素的地下情况,就需要开展工程地质勘探工作。工程地质勘探常用的手段有钻探、坑探和地球物理勘探。

③室内试验:是指在实验室对从现场取回的土样或土料进行物理力学性质试验。优点是简便、试验条件明确(如试样边界条件、排水条件等)、试验中的一些因素能够预先控制。缺点是试样体积小,在取样、运输、保存和制样过程中受到不同程度的扰动。

④原位测试:是指在岩土工程勘察现场,在不扰动或基本不扰动岩土层的情况下对岩土层进行测试,以获得岩土层物理力学性质指标及划分土层的一种现场勘测技术。原位测试主要包括载荷试验、静力触探试验、动力触探试验、十字板剪切试验、旁压试验、现场剪切试验和波速试验。目的在于获得有代表性的、反映现场实际条件的设计参数,包括岩土原位初始应力状态和应力历史、岩土力学指标、岩石工程参数等。

⑤现场检验与监测:在施工阶段,检测地质情况与勘察报告是否相符,如果有出入,应及时补充修正,对施工中出现的問題,提出处理意见和措施。现场监测是对自然或人为作用引起的岩土性状、周围环境条件(包括工程地质、水文地质条件)及相邻结构、设施等因素发生的变化进行各种观测工作,监视其变化规律和发展趋势,以便及时在设计、施工和维护上采取相应的防治措施,反馈信息,积累经验。如建筑物的沉降观测、基坑工程监测、地下水的监测。

## 3.3 地 基

### 3.3.1 岩土基本性质

岩土工程是指土木工程中涉及岩石、土的利用、处理和改良的科学技术,研究的主要对象是岩体和土体,岩土体与其他工程材料如钢材、混凝土、石灰等人工材料不同,是自然、历史的产物,其形成过程包含了一系列物理、化学和生物的作用。

地球上岩石面貌千变万化,但从它们的成因可分为三大类:岩浆岩、沉积岩、变质岩。三大岩石的成因不同,具有不同的矿物成分、结构和构造。地球上的土层是经过岩石风化作用形成的,它们或留存在原地,或经过风、水及冰川的剥蚀和搬运作用在异地沉积下来而形成。岩土体在其形成和存在的整个地质历史过程中,经受了各种复杂的地质作用,因而有着复杂的结构和地应力场环境,工程性质具有很大的差别。

#### 3.3.1.1 岩石的工程性质

岩石的工程性质包括物理性质、水理性质和力学性质,影响岩石工程性质的因素是组成岩石的矿物成分,岩石的结构、构造,以及岩石的风化程度。

岩石的物理性质指岩石的重力性质和孔隙性。岩石的水理性质指其与水作用时表现出来的性质,如岩石的吸水性、透水性、溶解性、软化性、膨胀性、崩解性、抗冻性。岩石的力学性质主要指岩石的变形指标和强度指标。变形指标有变形模量、弹性模量、泊松比;强度指标有抗压强度、抗拉强度、抗剪强度。岩石强度中,抗压强度最大,其次是抗剪强度,而抗拉强度最小。

### 3.3.1.2 土的工程性质

土由三相组成,包括固体颗粒、液体水和气体,土中固体矿物构成骨架,骨架之间贯穿着孔隙,孔隙中充满着水和空气,三相比例不同,土的状态和工程性质也不同。如:

固体+气体(不含液体)为干土,干黏土硬,干砂是松散的。

固体+液体+气体为湿土,湿黏土为可塑状态。

固体+液体(不含气体)为饱和土,饱和粉细砂受震动产生液化,饱和黏土地基沉降需很长时间才能稳定。

土的物理性质指标有 8 个,是反映土的工程性质的指标,即干密度  $\rho$ 、饱和密度  $\rho_{\text{sat}}$ 、浮密度  $\rho'$ 、土粒密度  $\rho_s$ 、土的含水率  $\omega$ 、土的饱和度  $s_w$ 、孔隙比  $e$ 、孔隙率  $n$ 。

### 3.3.1.3 岩石、土、岩体的区别

岩石和土都是矿物的集合体,都是自然界的产物,在地质作用下相互转化,既有共性又有不同,修建的各类土木工程的地基基础与岩土性质关系很大,修建的工程地质的性质往往不在于岩石的强度如何,而在于岩体的工程地质性质。

岩石和岩体过去统称岩石,实际上,从工程地质的观点来看,岩石是矿物集合体,没有显著的软弱面;岩体是岩石的地质综合体,它被各式各样的宏观地质界面分割成大小不等、形态各异且按一定规律排列的许多岩石块体组合形成的地质体。岩体是不连续的、非匀质的、各向异性的。岩体在形成过程中,地质作用复杂,岩体之间存在较高的地应力。在不同的地质环境中施工,会遇到不同的工程地质问题。

## 3.3.2 地基概念、应力及变形

### 3.3.2.1 地基概念

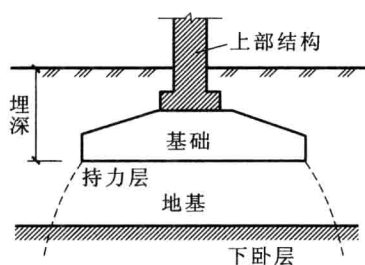


图 3-3 地基基础示意图

任何建筑物都是建在土层或岩层中,基础是将上部结构的荷载传给地基、连接上部结构与地基的部分,地基是指承受建筑物荷载的地层,如图 3-3 所示。地基直接承受基础荷载的土层(或岩层)称持力层,持力层以下的各土层(或岩层)称下卧层。承载力明显低于持力层的下卧层,称软弱下卧层。

未经人工处理就可以满足设计要求的地基称为天然地基。若地基软弱,承载力不能满足设计要求,则需对地基进行加固处理,称为人工地基。人们总是希望地质条件良好的场地上从事工程建设,但是很多情况下不得不在地质条件不良的地基上

修建工程,而且结构物的荷载越来越大,承载力要求越来越高,工程变形控制严格,所以需要对一些地基进行处理。

为了保证建筑物的安全,地基基础设计应满足下列两个要求:

①地基不能产生过大的变形,基础不能产生过大的沉降或不均匀沉降。基础结构本身应有足够的强度、刚度和耐久性,在地基反力作用下不会发生强度破坏。

②地基应具有足够的承载力,在荷载作用下,不能因地基失稳而造成建筑物的破坏。

## 3.3.2.2 地基应力

土体在自身重力、建筑物荷载、交通荷载或其他因素(地下水、地震)的作用下,都会产生地基土应力。在地基土应力作用下,地基产生变形,从而使土工建筑物(路堤、土坝)或者建筑物(房屋、桥梁)发生沉降、倾斜以及水平位移。如果变形过大,会影响结构上部的正常使用。如果土中应力过大,导致岩土体破坏,则会影响建筑物的稳定。地基应力的特点是向地基深处扩散并逐渐减弱,当扩散到一定深度时,应力很小,地基土基本不变形。因而从工程建设的观点分析,地基就是受建筑物荷载影响具有一定深度和一定范围的地层。

土中应力按成因分为自重应力和附加应力,两者之和是土体受外荷载作用下的总应力。以下简要介绍自重应力和附加应力的概念。

## (1) 土体自重应力

自重应力是指土体由于受到自身重力作用而存在的,地面至某一深度  $z$  的含有不同性质的土层应力分布情况,如图 3-4 所示,具体计算要考虑土的性质、地下水的情况。一般情况下,土体自重应力不会引起地基变形,因为形成年代已久,在自重作用下已经完成压缩变形,只有新近沉积土、近期人工填土(填方路堤、土坝)在自重作用下尚未固结,需要考虑土的自重引起地基变形。此外,由于地下水的升降,引起土中自重应力大小变化,会产生土体压缩、膨胀或湿陷变形。

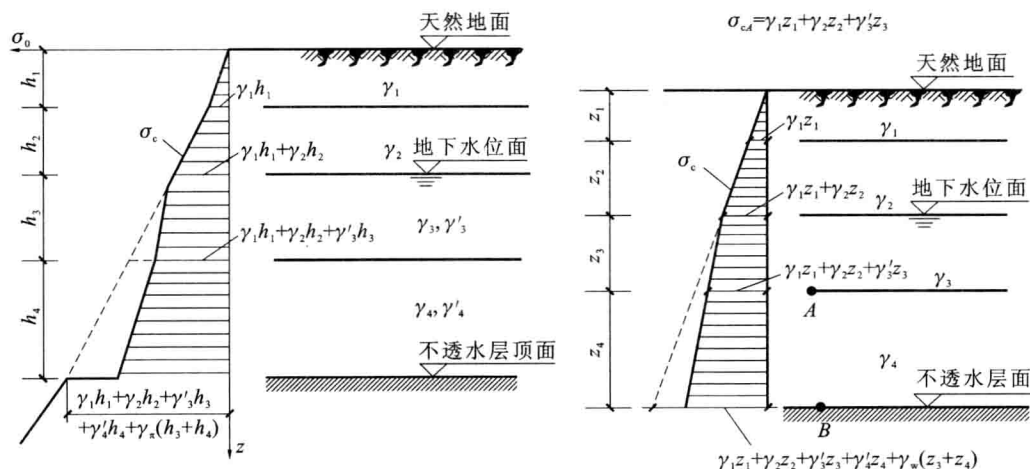


图 3-4 常见情况下土体自重应力

## (2) 地基附加应力

地基附加应力是指修建建筑物以后在地基内新增加的应力,是使地基发生变形,引起建筑物沉降的主要原因。地基中的附加应力计算比较复杂,目前采用的地基中附加应力计算方法,是根据弹性理论推导出来的。因此,对地基作下列几点假定:①地基是半无限空间弹性体;②地基土是连续均匀的,即变形模量  $E$  和泊松比  $\mu$  各处相等;③地基土是各向同性的,即同一点不同方向的  $E$  和  $\mu$  相同。

## (3) 基础底面压力的分布

基础底面压力是地基表面的压力,也称基底接触压力,基底压力的大小与分布形式是一个很复杂的问题,影响因素有:荷载大小与分布情况、地基土的种类、基础埋置深度、地基与基础的相对刚度。

## ① 弹性地基上的完全柔性基础。

对于绝对柔性基础( $EI=0$ ),由于它能够适应地基土的变形,所以,基底压力的分布与作用在基础上的荷载分布完全一致。荷载均匀分布时,基底压力(常用基底反力形式表示,下同)也将是均匀分布。这时,基础底面的沉降量各处不同,为中间大两边小[图 3-5(a)]。

在实际工程中并没有绝对柔性基础,常把土路堤、土坝等视为柔性基础。因此,在计算土路堤、土坝底部的基底压力分布时,可认为与土路堤、土坝的外形轮廓相同,其大小等于各点以上的土柱重量[图 3-5(b)]。

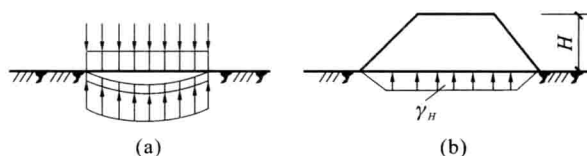


图 3-5 柔性基础下基底压力分布

(a)理想柔性基础;(b)深埋基础下基底压应力分布

### ②弹性地基上的绝对刚性基础。

对于绝对刚性基础( $EI=\infty$ ),由于其刚度很大,基础只能保持平面下沉而不能弯曲,其基底压力分布将随上部荷载的大小、基础的埋深和地基土的性质而异。基底接触压力的分布形式与作用在它上面的荷载分布形式不一致。

实测结果表明,刚性基础底面上的压力,在外荷载  $P_1$  较小时,按弹性理论解,分布形状呈拱形[图 3-6(a)],此时的地基土可大致视为弹性体;当荷载增大至  $P_2$  时,基底压力呈马鞍形[图 3-6(b)];当荷载继续增大至  $P_3$  时,边缘塑性破坏区逐渐增大,

两侧的压力不能再大,荷载所增加的压力添加在中部,基底压力分布变为抛物线[图 3-6(c)];当荷载继续增大至  $P_4$  时,基底压力分布即为钟形[图 3-6(d)]。

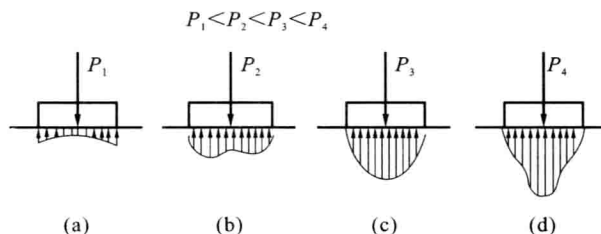


图 3-6 刚性基础接触应力或基底压力分布

(a)拱形;(b)马鞍形;(c)抛物线形;(d)钟形

### 3.3.2.3 地基变形

在建筑物引起的附加应力作用下,地基将产生压缩变形,引起基础沉降,由于荷载及地基土不均匀等原因,沉降往往也是不均匀的,当不均匀沉降超过一定限度时,将导致建筑物开裂、倾斜甚至破坏。因此,在设计地基基础时,对地基变形必须加以控制,《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)给出了建筑物的地基变形允许值。

地基变形的特征,分为沉降量、沉降差、倾斜和局部倾斜四种。沉降量是指基础中心点的沉降量;沉降差是指相邻单独基础沉降量的差值;倾斜指单独基础倾斜方向两端点的沉降差与其距离的比值;局部倾斜指砖石砌体承重结构沿纵向 6~10m 内基础两点的沉降差与其距离的比值,建筑物局部倾斜过大,会使砖石砌体承受弯矩作用而造成拉裂。

地基变形计算与土的压缩性以及压缩时间有关,地基沉降常用的计算方法是分层总和法和规范法。工程中衡量土的压缩性指标有:压缩系数、压缩指数、压缩模量和变形模量,压缩性指标的测定方法有室内压缩试验、原位浅层或深层平板载荷试验、三轴试验、标贯试验、旁压试验等。

### 3.3.3 地基处理

在土木工程建设中,地基领域的不确定因素多,问题复杂,难度大。据调查统计,在众多的工程事故中,由于地基问题处理不好而发生的事故占多数。地基处理好坏,不仅关系到所建工程是否安全可靠,而且关系到所建工程投资的大小。现阶段,土木工程建设规模逐渐扩大,要求逐渐提高,高层建筑、大跨度桥梁、地下工程等不断涌现,对天然地基进行处理的工程日益增多,了解和掌握地基处理技术对工程技术人员来说非常重要。

#### 3.3.3.1 需要处理的软弱土和不良土

我国地域辽阔,工程地质条件复杂,软弱及不良地基没有明确的界限,不能满足建筑物地基要求的天然地基称为软弱地基或不良地基。工程中常见不良土和软弱土主要包括软黏土、人工填土、部分砂土和粉土、湿陷性土、有机质土和泥炭土、膨胀土、盐渍土、垃圾土、多年冻土、岩溶、土洞和山区地基。下面介绍几种常见不良土。

##### (1) 软土地区路基

以饱水的软弱黏土沉积为主的地区称为软土地区。软土包括饱水的软弱黏土和淤泥。软黏土的特点是天然含水量高,天然孔隙比大,抗剪强度低,压缩系数高,渗透系数小。在荷载作用下,软黏土地基承载力低,地基沉降变形大,可能产生的不均与沉降也大,而且沉降稳定历时比较长,一般需要几年,甚至几十年。我国沿海、沿湖、沿河地带都有广泛的软土分布。

##### (2) 湿陷性土

湿陷性土包括湿陷性黄土、粉砂土以及干旱、半干旱地区具有崩解性的碎石土等。判断土是否具有湿陷性可根据野外浸水荷载试验确定,衡量指标是湿陷系数 $\delta_s$ ,湿陷系数的大小反映土对水的敏感程度,其值越小,湿陷性越小,受水浸润后的附加下沉也越小。 $\delta_s < 0.015$ 时,定为非湿陷性黄土; $\delta_s \geq 0.015$ 时,定为湿陷性黄土。湿陷性黄土在覆盖土层的自重应力或自重应力和附加应力的综合作用下,受水浸润后,土的结构迅速破坏,发生显著的附加沉降,强度迅速降低,广泛分布在甘肃、陕西、山西大部分地区。在湿陷性土地区修建建筑物,要综合考虑、合理采用地基处理、防水措施和结构措施等各种手段,以保证工程的安全可靠和正常使用。

##### (3) 膨胀土

具有较大吸水膨胀、失水收缩特性的高液限黏土称为膨胀土。膨胀土黏性成分含量很高,其中粒径为 $0.002\text{mm}$ 的胶体颗粒一般超过 $20\%$ ,黏粒成分主要由水矿物组成。土的液限 $WI > 40\%$ ;塑性指数 $IP > 17$ ,多数为 $22 \sim 35$ 。自由膨胀率一般超过 $40\%$ 。按工程性质,膨胀土分为强膨胀土、中等膨胀土、弱膨胀土三类。膨胀土的黏土矿物成分主要由亲水性矿物组成,如蒙脱石、伊利石等。膨胀土有较强的胀缩性,有多裂隙性结构,有显著的强度衰减期,多含有钙质或铁锰质结构,一般呈棕、黄、褐及灰白色。膨胀土分布范围很广,如广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、河北、山东、陕西、江苏等地。膨胀土地区的工程设计施工,必须根据膨胀土的特性和不同专业队工程的要求,充分考虑地区的气候特点、地形条件、地貌条件和土中含水率的变化情况,因地制宜地采取各种有效的设计和施工措施。

##### (4) 冻土

冻土是指温度低于  $0^{\circ}\text{C}$ , 土中水部分或大部分冻结成冰的土。冻土分为季节性冻土和多年冻土, 多年冻土的强度和变形具有许多特殊性, 冻土由土颗粒、冰、未冻水、气体四项组成, 由于冰的存在, 冻土地基的瞬时承载力很大, 在长期荷载作用下具有强烈的流变性。多年冻土在人类活动的影响下, 可能产生融化。所以多年冻土作为建筑物地基需要慎重考虑, 需要采取必要的地基处理措施。多年冻土主要分布在两个地区: 一个是纬度较高的内蒙古和黑龙江的大兴安岭和小兴安岭一带; 另一个是地势较高的青藏高原和甘肃新疆高山区。

### 3.3.3.2 地基处理措施

由于软弱地基和特殊地基的存在, 以及为满足建筑物特殊要求、达到工程使用目的, 需要对地基进行处理。地基处理方法分类的原则很多, 比如按地基处理原理、地基处理目的、地基处理性质、地基处理时效等不同角度进行分类。不少地基处理方法具有多种效用, 如土桩和灰土桩既有挤密作用又有置换作用, 还有一些地基处理方法的加固机理以及计算方法还不十分明确。已经发展的地基处理方法很多, 新的地基处理方法还在不断发展。以下是根据地基处理的加固原理, 将地基处理方法分为六类。

#### (1) 置换

置换是利用物理力学性质好的岩土材料置换天然地基中部分或全部软弱土体, 以形成双层或复合地基, 达到提高地基承载力、减小沉降的目的。主要方法有: 换土垫层法、挤淤置换法、褥垫法、砂石桩置换法、强夯置换法等。

#### (2) 排水固结法

排水固结是指土体在一定荷载作用下排水固结, 孔隙比减小, 抗剪强度提高, 以达到地基承载力, 减少工后沉降的目的。主要方法有: 加载预压法、超载预压法、真空预压法、真空预压和堆载预压联合作用法、电渗法、降低地下水位法。

#### (3) 灌入固化物

灌入固化物是指向土体中灌入或拌入水泥、石灰或其他化学固化浆材, 在地基中形成增强体, 以达到处理地基的目的。主要方法有: 深层搅拌法、高压喷射注浆法、渗入性灌浆法、挤密灌浆法。

#### (4) 振密、挤密

振密、挤密是指采用振动或挤密的方法使地基土体密实以达到提高地基承载力和减少沉降的目的。主要方法有: 表层原位压实法、强夯法、振冲密实法、挤密砂石桩法、爆破挤淤法等。

#### (5) 加筋

加筋是地基中设置强度高、模量大的筋材, 如土工格栅、土工织物等, 以达到提高地基承载力、减少沉降的目的。主要方法有: 加筋土垫层法、加筋挡土墙法和土钉墙法等。

#### (6) 冷热处理

冷热处理是通过冻结地基土体, 或焙烧、加热地基土体以改变土体物理力学性质达到地基处理的目的。主要方法有: 冻结法和烧结法。

### 3.3.3.3 地基处理方案的选择

首先应根据搜集的资料, 初步选定可供考虑的几种地基处理方案。然后对选定的几种地基处理方案, 进行技术经济分析和对比, 从中选择一种或两种最佳的地基处理方案。对选定的地基处理方案, 可在代表性的场地上进行相应的现场实体试验, 以检验设计参数、选择合理的施工方法和确定处理效果, 为施工设计提供参数。

### 3.4 基 础

基础作为工程的下部结构,是将上部结构的荷载传至地基上的结构,各类工程的结构形式多样,设计时应根据上部结构、工程地质条件的不同,选择合理的基础结构方案,使基础满足强度、刚度、稳定性的要求。

各类工程基础按基础埋置深度,分为浅基础和深基础。把位于天然地基上、埋置深度小于 5m 的基础以及埋置深度虽然超过 5m,但埋置深度小于基础宽度的大尺寸基础(如箱形基础),称为天然地基上的浅基础。把位于地基深处承载力较高的土层上,埋置深度大于 5m 或埋深大于基础宽度的基础,称为深基础。

房屋建筑的基础埋置深度指基础底面到室外设计地面的距离。桥梁结构的基础埋置深度,对于无冲刷河流,指河底或地面至基础底面的距离;对于有冲刷河流,指局部冲刷线至基础底面的距离。

#### 3.4.1 浅基础

浅基础根据受力特点不同,可分为无筋扩展基础和扩展基础;根据构造形式不同,可分为条形基础、独立基础、筏板基础、箱形基础和壳体基础等;根据所用材料不同,可分为灰土基础、三合土基础、混凝土基础、毛石混凝土基础、砖基础、毛石基础和钢筋混凝土基础。

##### 3.4.1.1 无筋扩展基础

无筋扩展基础也称为刚性基础,是由砖、毛石、素混凝土和灰土等材料做成的基础(图 3-7),基础埋置于土中,经常受到潮湿、冰冻等因素的侵蚀,是建筑物的隐蔽部分,破坏不容易发现和修复,所以对于修建基础所用材料有一定的要求。在我国不同的地区,根据环境气候不同,在基础设计及施工时应合理选用。

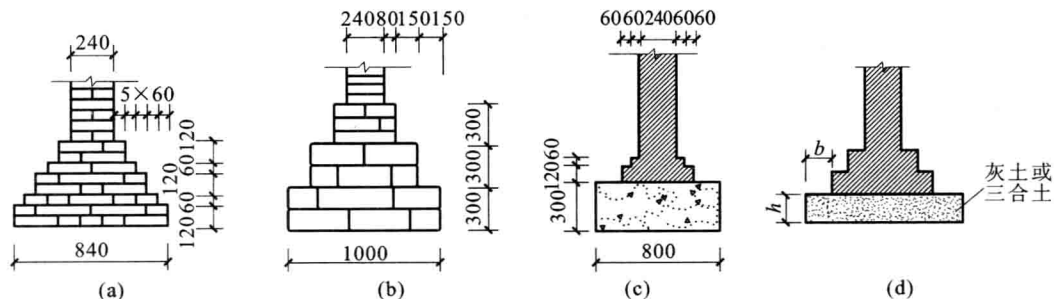


图 3-7 刚性基础

(a) 砖基础;(b) 毛石基础;(c) 素混凝土基础;(d) 三合土基础

无筋扩展基础材料抗拉、抗剪强度低,而抗压强度高。基础在地基反力作用下,基础悬挑部分的受力如同悬臂梁一样向上弯曲,悬臂越大,基础越容易因弯曲而拉裂。为防止破坏,此类基础设计要满足刚性角  $\alpha$  的需要,不同的材料,刚性角不同。

##### 3.4.1.2 扩展基础

扩展基础指用钢筋混凝土建造的基础,包括柱下钢筋混凝土和墙下钢筋混凝土条形基础



(图 3-8),特点是抗弯、抗剪强度高,不受刚性角的限制,耐久性和抗冻性好。适用于荷载大、地质条件差而需要浅基础的情况。

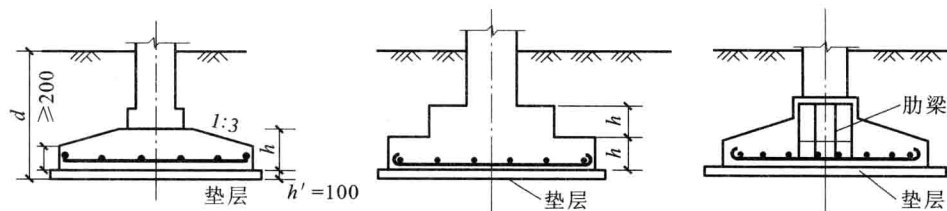


图 3-8 扩展基础的形式

### 3.4.1.3 浅基础的结构形式

浅基础按构造类型分为 4 种:独立基础、条形基础、筏板基础、箱形基础。

#### (1) 独立基础

在房屋建筑中,框架柱的基础一般为独立基础(图 3-9),常采用刚性基础。

#### (2) 条形基础

条形基础指基础长度远大于其宽度的一种基础形式,包括墙下条形基础和柱下条形基础、交叉条形基础(图 3-10、图 3-11、图 3-12),普遍应用于普通的砌体结构中。

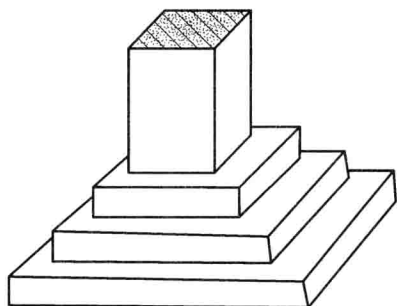


图 3-9 柱下独立基础

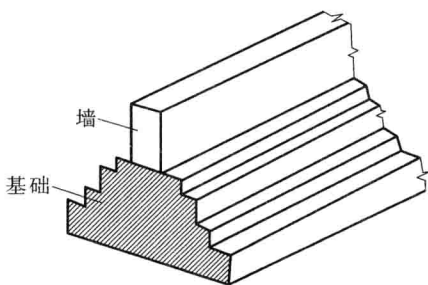


图 3-10 墙下条形基础

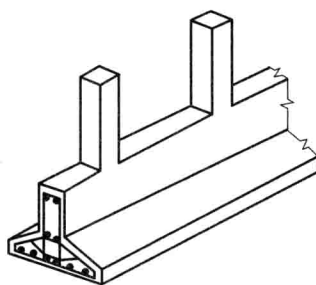


图 3-11 柱下条形基础

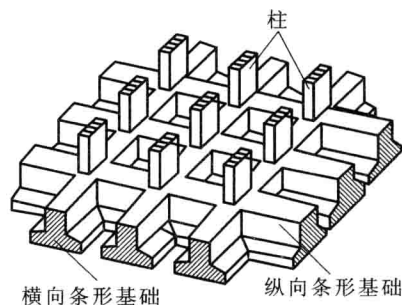


图 3-12 交叉条形基础

#### (3) 筏板基础

筏板基础应用于多层与高层建筑,当柱子和墙传来的荷载很大,地基土较软弱,用单独基础或条形基础都不能满足地基承载力要求时,或当地下水常年在地下室的地坪以上,为防止地下水渗入室内时,往往需要把整个房屋底面(或地下室部分)做成整块钢筋混凝土片筏基础。筏板基础按构造不同分为平板式和梁板式两类。平板式是在地基上做一块钢筋混凝土底板,柱子直接支承在底板上。梁板式按梁板的位置不同又分为两类:一种为将梁板放在底板的下方,底板上面平整,可作建筑物底层底面;另一种为在底板上做梁,柱子支承在梁上。筏形基础如图 3-13 所示。

#### (4) 箱形基础

箱形基础是一种由钢筋混凝土底板、顶板、侧墙和内隔墙组成的有一定高度的整体性结构(图 3-14),基础、顶板和隔墙共同工作,适用于软弱地基上的高层、重型或对不均匀沉降有严格要求的建筑物。



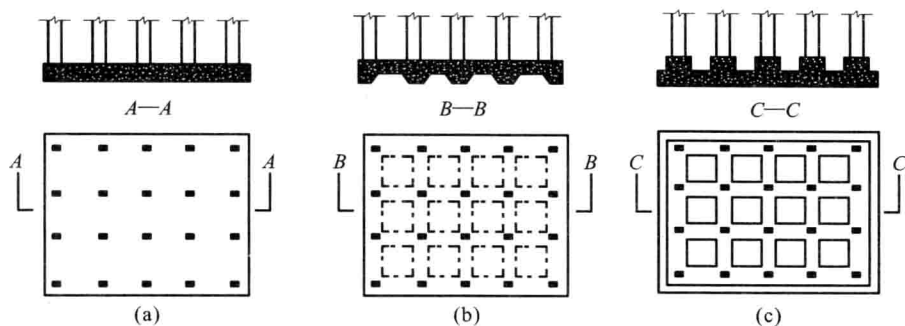


图 3-13 筏形基础

(a) 平板式; (b), (c) 梁板式

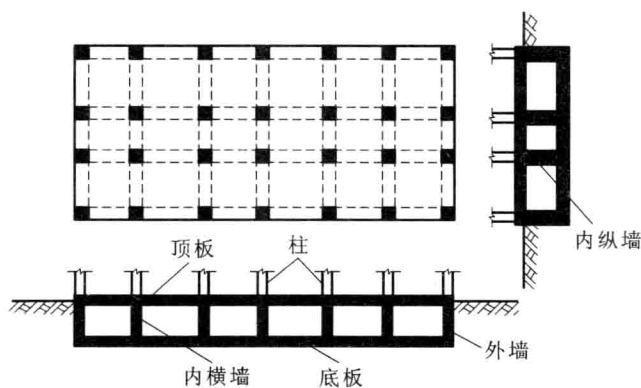


图 3-14 箱形基础

### 3.4.2 深基础

常见的深基础有桩基础、沉井基础、沉箱基础、地下连续墙基础。

#### 3.4.2.1 桩基础

桩基础是一种既古老又常见的基础形式。桩的作用是将上部结构荷载传递到深部较坚硬、压缩性小的土层或岩层上。桩基由于具有承载力高、稳定性好、沉降及差异变形小、沉降稳定快、抗震能力强,以及能适应各种复杂地质条件等优点而得到广泛使用。桩基除了在一般工民建中主要用于承受竖向抗压荷载外,还在港口、船坞、桥梁、近海钻采平台、高耸及高重建筑物、支挡结构以及抗震工程中,用于承受侧向风力、波浪力、土压力、地震力等水平荷载及竖向抗拔荷载。

##### (1) 桩基础的特点

桩基础具有以下优点:

① 桩基础支承在坚硬的(基岩、密实的卵砾石层)或较硬的(硬塑黏性土、中密砂等)持力层,具有较高的承载力。

② 桩基础刚度大,在自重或相邻荷载影响下,不产生过大的不均匀沉降。

③ 大直径桩和群桩基础的侧向刚度大,可以抵抗风荷载和地震引起的水平荷载。

##### (2) 桩的分类

桩的特点、承载性能由于成桩方法、使用功能、荷载传递机理、桩径及桩身材料的不同,而存在较大差异。因此,桩有不同的类别。

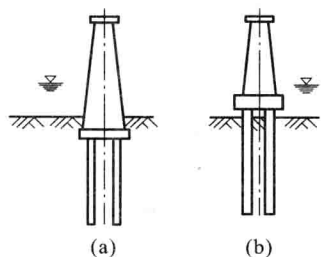


图 3-15 低桩承台基础和高桩承台基础

(a) 低桩承台基础; (b) 高桩承台基础

①桩基础按承台位置分为高桩承台桩基础和低桩承台桩基础。承台底面位于地面(或冲刷线)以上的称为高桩承台桩基础,承台全部沉入土中的则称为低桩承台桩基础(图 3-15)。

②根据桩的承载性能分为 4 类:摩擦桩、端承摩擦桩、端承桩、摩擦端承桩(图 3-16)。

a. 摩擦桩:在竖向极限荷载作用下,桩顶荷载全部或绝大部分由桩侧阻力承受,桩端阻力小到可忽略不计的桩。

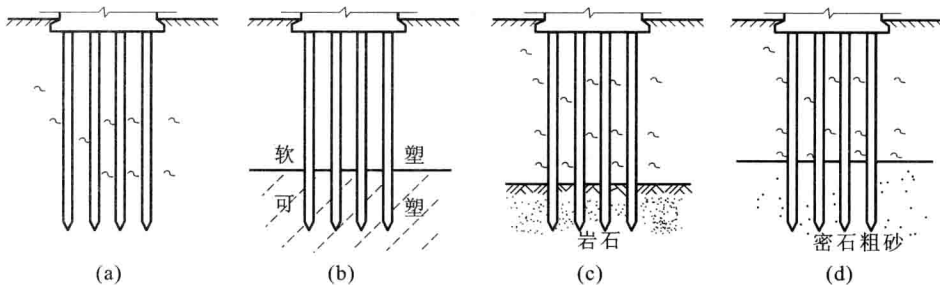


图 3-16 摩擦桩和端承桩

(a) 摩擦桩; (b) 端承摩擦桩; (c) 端承桩; (d) 摩擦端承桩

b. 端承摩擦桩:在竖向极限荷载作用下,桩端阻力分担荷载的比例较大,但不大于 30% 的桩。

c. 端承桩:在竖向极限荷载作用下,桩顶荷载全部或绝大部分由端阻力承担,桩侧阻力小到可忽略不计的桩。

d. 摩擦端承桩:在竖向极限荷载作用下,桩顶荷载主要由桩端阻力承受,桩侧阻力分担荷载的比例不超过 50% 的桩。

③根据桩身材料分为 4 类:木桩、混凝土桩、钢桩和组合材料桩。

a. 木桩。木桩的长度一般为 4~10m,直径为 180~260mm,承重木桩常用杉木、松木、柏木和橡木等坚硬耐久的木材。木桩容易制作,储运方便,打桩设备简单,造价低,我国古代建筑广泛使用木桩基础。但是木桩基础承载力低,使用寿命短,尤其在地下水位下的木桩,极易腐蚀破坏。

b. 混凝土桩。混凝土桩是目前使用最广泛的桩,有预制混凝土桩和灌注混凝土桩两大类。配置了受力钢筋,不仅能承压,而且可以承受抗拔荷载和水平荷载等情况,适用于各种地层。混凝土灌注桩随着成桩工艺的不断发展,成桩直径和长度逐渐增大,从而成为目前工民建和桥梁中使用的主要桩型。

c. 钢桩。钢桩可根据承载要求、减少挤土效应而灵活调整截面,并具有抗冲击性能强、接桩方便、施工质量稳定等特点,但造价高,存在环境腐蚀问题,钢桩在我国应用较少。目前常用的桩型有开口或敞口管桩、H 型钢桩或其他异型钢桩。

d. 组合材料桩。组合材料桩指由两种或两种以上材料组成的桩,一般可根据地层条件及充分发挥材料特性而进行组合。在特殊条件下应用,地下水位以下为混凝土桩,地下水位以上为木桩或钢桩。

④按施工方法分为两类:预制桩和灌注桩。

a. 预制桩:指在工厂或施工现场制成的各种形式和材料的桩,然后用设备打入、压入、旋入、冲入或振入土中。

b. 灌注桩:指在施工现场通过机械钻孔、钢管挤入或人工挖孔等形式形成桩孔,在桩孔内放置钢筋笼、灌注混凝土而形成的桩,桩的直径最大达到 4.0m,桩长超过 100m。根据成孔方法不同,分为钻孔灌注桩、沉管灌注桩、人工挖孔桩。

⑤根据成桩直径分为 3 类:大直径桩、中等直径桩及小桩。

a. 大直径桩:桩径  $D \geq 800\text{mm}$  的桩,在设计中应考虑挤土效应与尺寸效应。

b. 中等直径桩:桩径  $250\text{mm} < D < 800\text{mm}$  的桩。

c. 小桩:桩径  $D \leq 250\text{mm}$ 、长细比  $L/D$  较大的桩。小桩因具有施工空间要求小、对原有建筑物基础影响小、施工方便、可在任何土层中成桩、并能穿越原有基础等特点而在地基托换、支护结构、抗浮、多层住宅地基处理等工程中得到广泛应用。

### 3.4.2.2 沉井基础

沉井是一种四周有壁、下部无底、上部无盖的筒形结构物,它通过预制完成,施工时从井内挖土,借助自身重量克服井壁摩阻力下沉到设计标高,再经过封底混凝土并处理井孔而成为基础(图 3-17)。

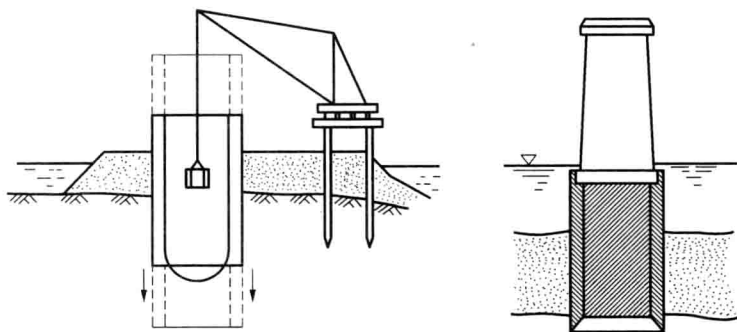


图 3-17 沉井基础

①沉井的特点:埋置深度可以很大,整体性强,稳定性好,有较大的承载面积,能承受较大的垂直荷载和水平荷载;下沉过程中,作为坑壁围护结构,起挡土、挡水作用;施工中不需要很复杂的机械设备,施工技术简单,在桥梁工程中应用较广。

②沉井基础缺点:施工工期长;对饱和细砂、粉砂和亚砂土,井内抽水下沉时易发生流沙现象,造成沉井倾斜;若土层中遇到孤石、树干等障碍物,将使沉井下沉受阻,给施工带来困难。

③一般沉井的构造(图 3-18):顶盖、井壁、隔墙、刃脚、井孔、凹槽、封底混凝土。

④沉井分类:

a. 按沉井使用材料分为混凝土沉井、钢筋混凝土沉井、钢沉井。

b. 按沉井平面形状分为圆形沉井、矩形沉井、圆端形沉井。

c. 按沉井立面形状分为竖直式、倾斜式、台阶式。

d. 按沉井施工方法为一般沉井和浮运沉井。

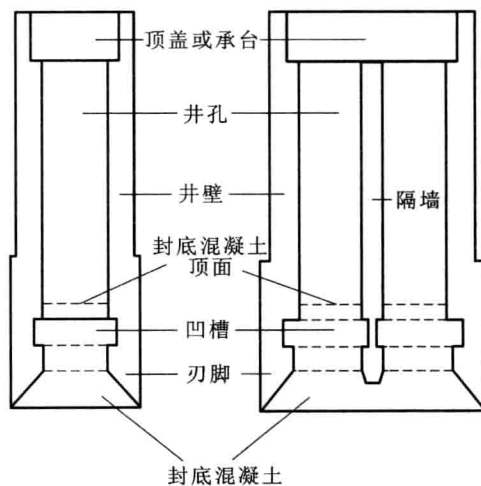


图 3-18 沉井构造图

### 3.4.2.3 沉箱基础

沉箱基础又称气压沉箱基础,就像有盖无底的沉井,顶盖上装有特制的井管和气闸,工人在工作室挖土,使沉箱在自重作用下沉入土中。当沉箱在水下就位后,将压缩空气压入沉箱内部,排出其中的水,工作人员在无水的室内进行挖土工作,并通过升降筒和气闸把弃土外运,从而使沉箱在自重和顶面压重作用下逐步下沉到设计标高,最后用混凝土填实工作室,即成为沉箱基础(图 3-19)。

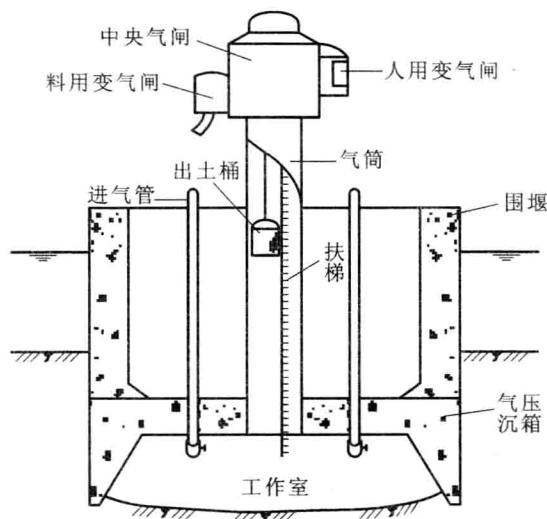


图 3-19 沉箱基础

沉箱基础的优点是整体性强,稳定性好,能承受较大的荷载,沉箱底部的土体持力层质量能得到保证。其缺点是工人在高压、无水条件下工作,随着开挖深度的加深,箱内气压增大,当作业气压大于 0.2MPa 时,作业人员容易患病,包括醉氮、氧中毒、二氧化碳中毒和减压病。由于这个原因,使用范围受到了很大限制。现在随着自动化技术、机电一体化技术的发展,又有了一些新的沉箱工法,无人沉箱工法被认为是大深度基础施工中最有前途的工法。

### 3.4.2.4 地下连续墙基础

地下连续墙是在地面用专用设备,在泥浆护壁的情况下,开挖一条狭长的深槽,在槽内放置钢筋笼并浇灌混凝土,形成一段钢筋混凝土墙段,如图 3-20 所示。各墙段顺次施工并连成整体,形成一条连续的地下墙体。可以作为截水防渗、挡土及承重之用。

地下连续墙的优点是刚度大、整体性好,结构和地基的变形都较小;结构耐久性好、抗渗性能较好;可以实行逆作法施工,有利于施工安全,加快施工进度,降低造价;施工时振动少,噪声低,对沉降和变形易于控制。

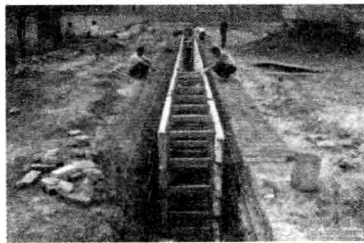


图 3-20 连续墙施工

地下连续墙可分为以下四类:a. 按用途分为临时挡土墙、防渗墙、用作主体结构兼作挡土墙的地下连续墙;b. 按建筑材料分为土质墙、混凝土墙、钢筋混凝土墙(现浇和预制)和组合墙(预制混凝土墙板和自凝水泥膨润土泥浆的组合);c. 按成墙方式分为桩排式、壁板式、桩壁组合式;d. 按构造形式分为分离壁式、整体壁式、单独壁式、重壁式。

地下连续墙施工技术逐渐趋于成熟,已经从防渗、挡土,发展成为高层建筑、大跨桥梁结构的基础,广泛应用于高层建筑的深大基坑、大型地下商场、地下停车场、地铁车站、桥梁基础等,发展前景广阔。

### 本章小结

(1)地球表层是人类赖以生存的场所,地质环境是各种地质作用的结果,包括地球内部的内力地质作用和外力地质作用。

(2)工程地质勘察任务是查明建筑场地的工程地质条件,结合工程的具体特点和要求,对岩土工程进行分析评价,对基础设计、不良地质整治提出建议。按工作程序分为可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察、施工勘察四个阶段,每个阶段勘察任务不同。岩土工程勘察方法包括:地质测绘与调查、勘探、室内试验、原位测试、现场检验与监测。

(3)地基是承受建筑物荷载的地层,不同的地基承载能力不同,不经处理的为天然地基,承载力不能满足要求,需要进行处理的地基称为人工地基。对于不同地质条件,应选用合适的地基处理方法。

(4)建筑基础分为浅基础、深基础,各类基础的分类及特点不同,设计时根据工程需要合理选取。

### 独立思考

- 3-1 简述地壳运动及地壳运动分类。
- 3-2 简述地质作用及其表现形式。
- 3-3 简述工程地质勘察的任务。
- 3-4 工程地质勘察划分为哪些阶段?各阶段的工作分别是什么?
- 3-5 工程地质勘探的主要方法有哪些?
- 3-6 什么是地基、地基应力、地基附加应力?
- 3-7 常用的地基处理方法有哪些?
- 3-8 什么是浅基础和深基础?它们分别如何分类?

### 参考文献

- [1] 叶志明. 土木工程概论. 北京:高等教育出版社,2009.
- [2] 刘伯权. 土木工程概论. 北京:科学出版社,2012.
- [3] 胡厚田,白志勇. 土木工程地质. 北京:高等教育出版社,2009.
- [4] 周桂云. 工程地质. 南京:东南大学出版社,2012.
- [5] 陈祥军. 工程地质学基础. 北京:中国水利水电出版社,2011.

## 4 建筑工程

### 【内容提要】

本章主要内容为建筑和建筑工程的概念、建筑的发展历史、建筑的分类与分级,建筑结构与构造简介,建筑设计概述,建筑工程施工技术简介等。本章的教学重点为建筑工程的概念及建筑构造;教学难点为建筑设计及建筑工程施工技术。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应熟悉建筑结构类型以及施工技术,了解建筑结构的构造及发展。

### 4.1 概 述

#### 4.1.1 建筑和建筑工程的概念

##### 4.1.1.1 建筑

建筑一词英文为 architecture,来自拉丁语 architectura,可理解为关于建筑物的技术和艺术的系统知识,称为建筑学。汉语“建筑”是一个多义词,既可以表示建筑工程或土木工程的营造活动,又可表示这种活动的成果。目前,对建筑的含义,学术界有很多解释,按照最通俗的理解,就是把建筑作为工程实体来对待。

建筑通常认为是艺术与工程技术相结合,营造出供人们进行生产、生活或者其他活动的环境、空间、房屋或者场所。一般情况下是指建筑物和构筑物。

建筑物是指供人们生活居住、工作学习、娱乐和从事生产的建筑。而人们不在其中生产、生活的建筑则称为构筑物。

建筑的形成主要涉及建筑学、结构学、给排水、供暖通风、空调技术、电气、消防、自动控制、建筑声学、建筑光学、建筑热工学、建筑材料、建筑施工技术等方面的知识和技术。同时,建筑也受到政治制度、自然条件、经济基础、社会需要以及人工技巧等因素影响。建筑在一定程度上反映了某个地区某个时期的建筑风格与艺术,也反映了当时的社会活动和工程技术水平。因此,建筑是一门融社会、工程技术和文化艺术于一体的综合性学科,是一个时代物质文明、精神文明和政治文明相结合的产物。

建筑的基本属性包括以下几个方面:

- ①建筑的时空性。
- ②建筑的工程技术性。
- ③建筑的艺术性。
- ④建筑的民族性和地方性。

构成建筑的基本要素是指不同历史条件下的建筑功能、建筑物质技术条件和建筑形象。三要

素间是相互联系、相互约束又不可分割的辩证统一关系。

建筑功能是建筑的目的,是主导因素;物质技术条件是达到建筑目的的手段;而功能不同的各类建筑可以选择不同的结构形式和使用不同的建筑材料,形成不同的建筑形象。所以,在一定功能和技术条件下,应充分发挥设计者的主观作用,使建筑形象更加美观。

建筑的物质技术条件是建造建筑物的手段,一般包括建筑材料、土地、制品、构配件技术、结构技术、施工技术和设备技术等。建筑的物质技术条件是建筑发展的重要因素,建筑技术和建筑设备对建筑的发展同样起到重要作用。

建筑除满足人们的使用要求外,又以它不同的空间组合、建筑造型、立面形式、细部与重点处理、材料的色彩和质感、光影和装饰处理等,构成一定的建筑形象。建筑形象是建筑的功能和技术的综合反映。

#### 4.1.1.2 建筑工程

建筑工程(Building Engineering, Constructional Engineering)是指通过对各类房屋建筑及其附属设施的建造和与其配套的设备、管道、线路的安装活动所形成的工程实体。其中“房屋建筑”是指由基础、墙柱、楼板、楼梯、屋顶、门窗等所形成的内部空间,以满足人们生产、生活及公共活动等的需要,包括住宅、商场、学校、医院和厂房等;“附属设施”是指与房屋建筑相配套的水塔、车棚、水池等;“配套的设备、管道、线路的安装”是指与房屋建筑及其附属设施相配套的通风空调、给排水、电气、通信等设备、管道、线路的安装活动。

建筑工程的基本属性与土木工程的基本属性大体一致,有如下几个方面。

##### (1)综合性

一项建筑工程项目的建设一般都要经过勘察、设计和施工等阶段。每一个阶段的实施过程都需要运用工程地质勘探、工程测量、土力学、建筑力学、建筑结构、工程设计、建筑材料、建筑设备、建筑经济等学科,以及施工技术、施工组织等不同领域的知识。

##### (2)社会性

建筑工程是伴随人类社会的进步而发展起来的,所建造的建筑物和构筑物反映出不同历史时期社会、经济、文化、科学、技术和艺术发展的全貌。建筑工程在相当大的程度上成为社会政治和历史发展的外在特征和标志。

##### (3)实践性

建筑工程涉及的领域非常广泛,因此,影响建筑工程的因素必然众多且复杂,使得建筑工程对实践的依赖性很强。

##### (4)技术、经济 and 艺术的统一性

建筑工程是为人类需要服务的,所以它必然是集一定历史时期社会经济、技术和文化艺术的产物,是技术、经济和艺术统一的结果。

建筑是为满足各种不同社会过程(包括生产、生活、文化等)的需要而建造的有组织的内部和外部空间环境。

建筑一般来讲是建筑物与构筑物的统称。建筑物是指为了满足人类社会生产、生活或其他活动的需要,人们利用所掌握的物质技术手段,在科学规律和美学法则的指导下,通过空间的限定、组织而创造的活动空间和场所,如:住宅、办公楼、影剧院、体育馆、厂房等。构筑物是指人们不直接在其内部从事生产和生活活动的建筑,如:水塔、桥梁、堤坝、烟囱等。



### 4.1.2 建筑的历史发展概况

建筑物是人类祖先为了遮风挡雨,防范野兽的侵袭,以及满足人们精神领域的需求而诞生的,最初是利用树枝、泥土、石块等一些容易从自然界中获得的天然材料,经过粗略的加工,盖起树枝棚、石屋等原始的建筑物。随着社会生产力的不断发展,文明程度日新月异,人们对建筑物的要求也逐渐地复杂和多样,从而出现了许多不同的建筑类型,它们在使用功能、所用材料、建筑技术和建筑艺术等方面,都得到了很大的发展和提高。

#### 4.1.2.1 我国建筑的发展概况

##### (1) 我国古代建筑

我国古代建筑在世界建筑史上占有重要的位置。我国最早的原始人住所是北京猿人居住的岩洞。新石器时代末期(距今约六七千年以前),我国的建筑就已经有了一定的水平,例如西安的半坡遗址(图 4-1),半地穴建筑的斜坡道多由人字形屋顶覆盖,居住面周围的壁面是以“木骨泥墙”的方式构成向内倾斜的壁体,面内以木柱构成支架,支撑着壁体的木骨泥墙和屋顶。

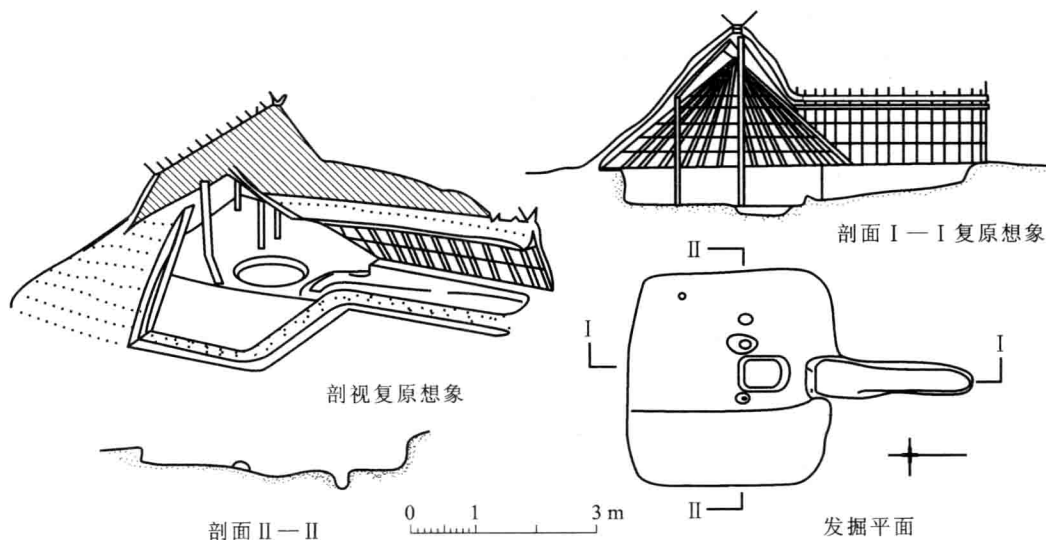


图 4-1 陕西半坡村原始社会的建筑物

到了奴隶社会,我国不仅出现了城邑、宗庙、宫殿等,而且已有了相当规模的城市建设。之后,我国经历了 3000 多年的封建社会,在这漫长的岁月中,我国古建筑逐步发展成独特的建筑体系,在城市规划、园林、民居、建筑技术与艺术等方面都取得了很大的成就。我国古建筑主要有干阑建筑、地面建筑、高台建筑等,如西藏布达拉宫(图 4-2)。

著名的山西五台山佛光寺大殿(图 4-3)兴建于唐朝,是我国保存年代最久、现存的最大木构件建筑。

明清时代,随着生产力的发展,建筑技术与艺术也有了突破性的发展,兴建了一些举世闻名的建筑,如北京故宫(图 4-4)、天坛(图 4-5)等。

##### (2) 我国近代建筑

到了近代,随着土木工程已逐步形成一门独立的学科,波特兰水泥、钢筋混凝土的应用,转炉炼钢法等人工土木工程材料被发明,打桩机、压路机、挖土机、掘进机、起重机等新施工机械和施工方

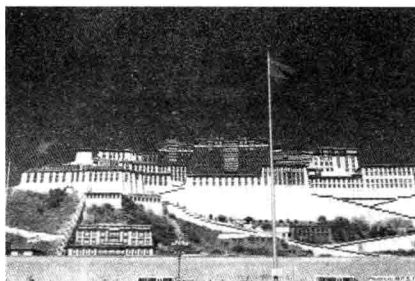


图 4-2 西藏布达拉宫



图 4-3 五台山佛光寺大殿



图 4-4 北京故宫



图 4-5 天坛

法被使用,从而诞生了许多优秀的近代土木工程杰作,如 1934 年建成的号称 20 世纪 30 年代远东第一楼的上海国际饭店等。

### (3) 我国现代建筑

20 世纪 50 年代,北京兴建了人民大会堂、北京火车站、民族文化宫等十大建筑。60 年代到 70 年代,我国兴建了一批大型公共建筑。如 1977 年兴建的 33 层广州白云宾馆,1970 年兴建的上海体育馆等建筑。进入 80 年代以后,我国的建设事业蓬勃发展,如我国最大的展览建筑北京国际展览中心等,此外还兴建了一大批高层建筑。如香港中环广场(图 4-6)、香港新中银大厦(图 4-7)、广州国际大厦、北京京广中心等。



图 4-6 香港中环广场

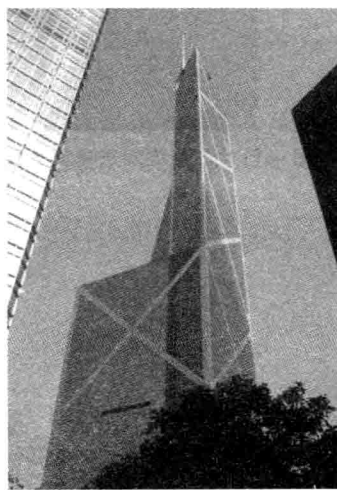


图 4-7 香港新中银大厦

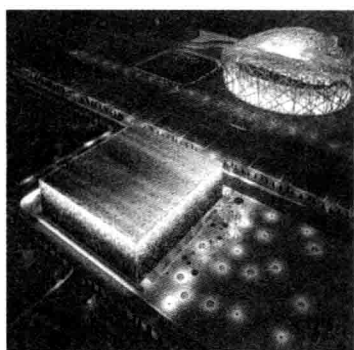


图 4-8 “鸟巢”和“水立方”

值得一提的是,2008 年 8 月 8 日,我国承办了第 29 届奥林匹克运动会,作为本届奥林匹克运动会的主体育场“鸟巢”和国家游泳中心“水立方”(图 4-8),分别位于中轴线两侧,一方一圆,遥相呼应,构成了“人文奥运”的独特风景线。

#### 4.1.2.2 外国建筑的发展概况

西方建筑的形式和风格的演变非常复杂,这一点和我国的建筑是很不一样的。旧石器时代人类栖息的地方只有大自然提供的山洞。欧洲的史前建筑中比较有代表性的是树枝棚。希腊神庙的代表——雅典的帕提依神庙(图 4-9)、罗马的代表性建筑大角斗场(图 4-10),埃及的金字塔、西亚的巴比伦城、哥特式建筑中的法国兰斯大教堂、意大利的米兰大教堂等在建筑史上都有着特殊的位置。



图 4-9 雅典帕提依神庙



图 4-10 罗马大角斗场

随着建筑技术的不断发展,现代西方也出现了许多有代表性的建筑物,如马来西亚吉隆坡的国家石油双子星座大厦(图 4-11)、悉尼歌剧院(图 4-12)、英国伦敦的“千年穹顶”(图 4-13)以及 2010 年 1 月 4 日建成的世界上最高的人造建筑——迪拜哈利法塔(图 4-14)等。



图 4-11 吉隆坡双子星座大厦



图 4-12 悉尼歌剧院

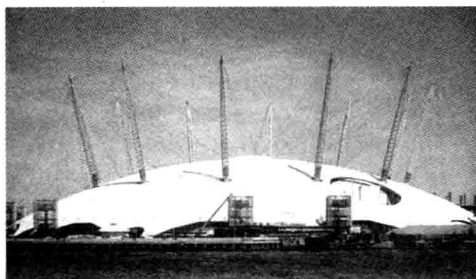


图 4-13 伦敦“千年穹顶”



图 4-14 迪拜哈利法塔

### 4.1.3 建筑的基本构成要素及相互关系

构成建筑的三大基本要素是建筑的使用功能、建筑的物质技术条件和建筑的艺术形象。

#### 4.1.3.1 建筑的使用功能

建筑的使用功能是指建筑物在物质和精神方面的具体使用要求,建筑的使用功能不同就产生了不同的建筑。例如,观演建筑要求有良好的视听环境,交通建筑要求人流线路流畅,工业建筑必须符合生产工艺流程的要求等。同时,建筑还必须满足人体尺度和人体活动所需的空間尺度以及人的生理要求,如保温隔热、良好的朝向、防水、防潮、采光、隔声、通风条件等。

#### 4.1.3.2 建筑的物质技术条件

建筑施工技术、建筑所使用的材料和建筑设备是构成建筑的基本物质要素。其中材料是物质基础,结构是构成建筑空间的骨架,施工技术是实现建筑生产的过程和方法,设备是改善建筑环境的技术条件。

#### 4.1.3.3 建筑的艺术形象

建筑的艺术形象是建筑物内外观感的具体体现,它包括建筑体型、立面形式、内外空间组织、细部装饰、材料的质感及色彩处理等内容。

建筑的三大要素的相互关系为辩证统一、不可分割并且相互制约。建筑的使用功能往往占主导地位,它对物质技术条件和建筑形象两者起着决定性作用,而物质技术条件又会对建筑功能和建筑形象起着制约或促进发展的作用。建筑形象是功能和技术的反映,但如果充分发挥设计者的主观作用,在一定的功能和技术条件下,可以把建筑设计得更加美观。

### 4.1.4 建筑的分类与分级

#### 4.1.4.1 按建筑物的使用功能分类

建筑物按照它们的使用功能通常可分为生产性建筑(工业建筑、农业建筑)和非生产性建筑(民用建筑)。

①工业建筑是指从事各类工业生产及直接为生产服务的辅助房屋,一般称为厂房。

a. 按厂房的用途分为:主要生产厂房、辅助生产厂房、动力类生产厂房、贮藏类生产厂房。

b. 按车间的内部生产状况分为:热加工车间、冷加工车间、有侵蚀介质生产车间、恒温恒湿车间、洁净车间。

c. 按层数分为:多层厂房、单层厂房(单跨和多跨)、混合厂房。

②农业建筑是指供人们从事农、牧业生产和加工用的房屋。如温室、农产品仓库、畜禽饲养场、农机修理厂(站)、水产品养殖场、畜舍、农畜产品加工厂等。

③民用建筑根据建筑物的使用功能分为居住建筑和公共建筑两大类。

居住建筑是供人们日常起居用的建筑物,主要有住宅、公寓、宿舍等。公共建筑是供人们进行各项社会活动的建筑物,公共建筑根据其使用功能的特点,可以分为以下一些建筑类型,如办公建筑、交通建筑、生活服务性建筑、体育建筑、文教建筑、园林建筑、托幼建筑、通信广播建筑、科研建筑、商业建筑、医疗建筑、旅馆建筑、观演建筑、纪念性建筑、展览建筑等。

## 4.1.4.2 按建筑物的高度或层数分类

建筑高度是建筑物室外地面到其檐口或屋面面层的高度,屋顶上的水箱间、电梯机房、排烟机房和楼梯出口小间等不计入建筑高度。

①低层建筑:层数为1~3层的建筑。

②多层建筑:层数为4~6层的建筑。

③中高层建筑:层数为7~9层的建筑。

④高层建筑:高层建筑是指超过一定层数和高度的建筑。我国《高层民用建筑防火设计规范》(GBJ 50045—95)(2005年版)对高层建筑的规定为:10层和10层以上的住宅;总高度超过24m的公共建筑及综合性建筑(不包括高度超过24m的单层主体建筑)。

⑤超高层建筑:指建筑高度超过100m的民用建筑。

世界上对高层建筑的界定,各国规定各不相同,如表4-1所示。

表4-1

各国高层建筑起始高度划分界限表

国名	起始高度
德国	>22m(至底层室内地面)
法国	住宅:>50m,其他:>28m
日本	31m(11层)
美国	22~25m或7层以上
俄罗斯	住宅:10层及10层以上
英国	24.3m

## 4.1.4.3 按建筑物的规模和数量分类

## (1)大量性建筑

大量性建筑是指单体建筑规模不大但兴建数量多而且分布广的建筑,如居住建筑和为居民服务的一些中小型公共建筑(中小学校、托儿所、医院、小商店等)。

## (2)大型性建筑

大型性建筑是指单体建筑规模大、影响较大的建筑,建造数量较少,如大型体育馆、博物馆、大型火车站、航空港等。

## 4.1.4.4 按建筑结构的承重方式分类

①墙承重式:用墙承受楼板及屋顶传来的全部荷载的建筑。

②骨架承重式:用柱与梁组成骨架承受全部荷载的建筑,也即框架结构建筑。

③内骨架承重式:当建筑物的内部用梁、柱组成骨架承重,四周用外墙承重时,称为内骨架承重式建筑。

④空间结构承重式:用空间构架或结构承受荷载的建筑。

## 4.1.4.5 按主要承重结构的材料分类

①土木结构建筑:以生土墙和木屋架作为主要承重结构的建筑。

②砖木结构建筑:用砖(石)墙(或柱)、木屋顶或木楼板作为主要承重结构的建筑。

③砖混结构建筑:用砖墙(或柱)、钢筋混凝土楼板和屋顶作为主要承重结构的建筑。这是当前建造数量最大、采用最普遍的结构类型。

④钢筋混凝土结构建筑:主要承重构件(柱、梁、板)全部采用钢筋混凝土结构的建筑。主要用于大型公共建筑、高层建筑和工业建筑。

⑤钢结构建筑:主要承重构件(柱、梁)全部用钢材制作的建筑。

⑥其他结构建筑。

#### 4.1.4.6 按耐火等级分类

建筑物的耐火等级是由建筑物主要构件的燃烧性能和耐火极限两方面决定的。现行《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)把民用建筑物的耐火等级划分成四级。一级的耐火性能最好,四级最差。总的来讲,我国新建的工业与民用建筑耐火等级以二级居多。不同耐火等级建筑物相应构件的燃烧性能和耐火极限不应低于相关规定。

##### (1)构件的耐火极限

建筑构件的耐火极限,是指按建筑构件的时间-温度标准曲线进行耐火试验,从受到火的作用时起到出现以下任一现象:失去支持能力、完整性被破坏和失去隔火作用为止的这段时间,以 h 为单位。具体判定条件如下:

①失去支持能力:非承重构件失去支持能力的表现为自身解体或垮塌。梁、板等受弯承重构件失去支持能力的表现为挠曲率发生大的突变。

②完整性被破坏:楼板、隔墙等具有分隔作用的构件,在试验中,当出现穿透裂缝或穿火的孔隙时,表明试件的完整性被破坏。

③失去隔火作用:具有防火分隔作用的构件,试验中背火面测点测得的平均温度升到  $140^{\circ}\text{C}$  (不包括背火面的起始温度)或背火面测温点任一测点的温度到达  $220^{\circ}\text{C}$  时,则表明试件失去隔火作用。

##### (2)构件的燃烧性能

①非燃烧体:用非燃烧材料建成的建筑构件,如砖石材、混凝土、有保护层的金属柱。

②燃烧体:用燃烧材料建成的建筑构件,如木材、塑料、纤维板。

③难燃烧体:用难燃烧材料建成的建筑构件,或用燃烧材料做成而用非燃烧材料做保护层的建筑构件。如石膏板、石棉板、沥青混凝土构件、木板条抹灰构件。

#### 4.1.4.7 按耐久等级分类

建筑物的耐久性等级主要根据建筑物的重要性和规模大小划分,并以此作为基建投资和建筑设计的重要依据。使用年限的长短是依据建筑物的性质决定的。影响建筑寿命长短的主要因素是结构构件的选材和结构体系。耐久等级的指标是使用年限。

耐久等级一般分为四级:

①一级建筑:耐久年限为 100 年以上,适用于重要建筑和高层建筑。

②二级建筑:耐久年限为 50~100 年,适用于一般建筑。

③三级建筑:耐久年限为 25~50 年,适用于一般建筑。

④四级建筑:耐久年限为 15 年以下,适用于临时性建筑。

## 4.2 建筑结构与构造

### 4.2.1 建筑结构概述

结构是建筑物的承重骨架,是建筑物赖以存在的主要条件。建筑物依其使用性质和规模的不同,可以分为单层、多层、大跨度、高层建筑及特种结构,这些建筑中,单层及多层建筑的主要结构形式又可分为墙承重式结构(图 4-15)和骨架承重式结构(图 4-16)。大跨度建筑常见的结构形式有很多种,如网架结构、悬索结构、网壳结构、薄壳结构、悬吊结构、索膜结构、充气结构、应力蒙皮结构等。高层与超高层结构的主要形式有框架结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构、框支剪力墙和筒体结构。特种结构是指具有特种用途的工程结构,包括海洋工程结构、高耸结构、容器结构、管道结构和核电站结构等。

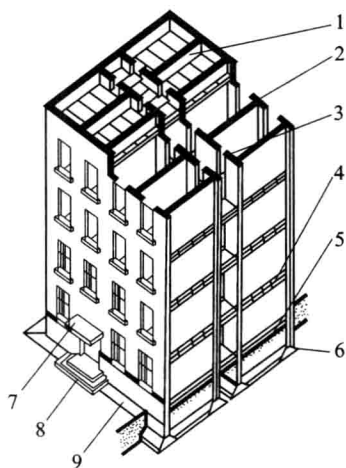


图 4-15 墙承重式结构

1—横向内墙;2—外墙;3—纵向内墙;4—楼板;  
5—首层地面;6—条形基础;7—雨篷;8—台阶;9—散水

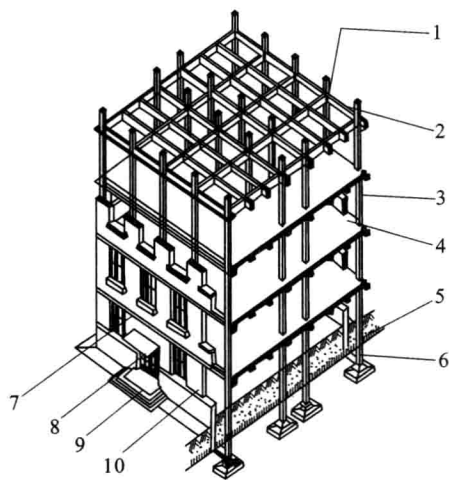


图 4-16 骨架承重式结构

1—次梁;2—主梁;3—柱;4—楼板;5—基础梁;  
6—基础;7—雨篷;8—外门;9—台阶;10—外墙

### 4.2.2 建筑构造概述

#### 4.2.2.1 建筑构造研究的对象及主要任务

建筑物是由许多部分所构成的,这些构成部分在建筑工程中被称为构件或配件。建筑构造是一门研究建筑物各组成部分构造原理和构造方法的学科。它的主要任务是综合多方面的技术知识,根据多种客观因素,以选材、选型、工艺和安装为依据,研究各种构、配件及其细部构造的合理性(包括安全、适用、经济、美观),使其能有效地满足建筑的使用功能。

#### 4.2.2.2 影响建筑构造的主要因素

##### ① 自然环境的影响。

自然界的风霜雨雪、冷热寒暖、太阳辐射、大气腐蚀等都时时作用于建筑物,对建筑物的使用质量和使用寿命有着直接的影响。



### ②外力的影响。

外力的形式多种多样,如风力、地震力、构配件的自重力、温度变化、热胀冷缩所产生的温度内应力,正常使用中人群、家具设备作用于建筑物上的各种力等。

### ③人为因素的影响。

人们在生产生活中,常伴随着产生一些不利于环境的负效应,诸如噪声、机械振动、化学腐蚀、烟尘,有时还有可能产生火灾等,设计时要认真分析这些因素,采取相应的防范措施。

### ④技术经济条件的影响。

所有建筑构造措施的具体实施,必将受到材料、设备、施工方法、经济效益等条件的制约。

#### 4.2.2.3 构造设计的基本原则

在构造设计过程中,应遵守以下基本原则:

- ①必须满足建筑使用功能要求。
- ②确保结构安全可靠。
- ③必须适应建筑工业化的需要。
- ④执行行业政策和技术规范,注意环保,讲求建筑经济的综合效益。
- ⑤必须注意美观。

综上所述,在建筑构造设计中,应全面考虑坚固适用、技术先进、经济合理、美观大方,这些是最基本的原则。

#### 4.2.2.4 建筑物的构造组成

##### (1)民用建筑

民用建筑一般由基础、墙(柱)、地坪层、楼板层、楼梯、屋顶和门窗等几大部分所组成,如图4-17所示。各组成部分的作用和构造要求分述如下。

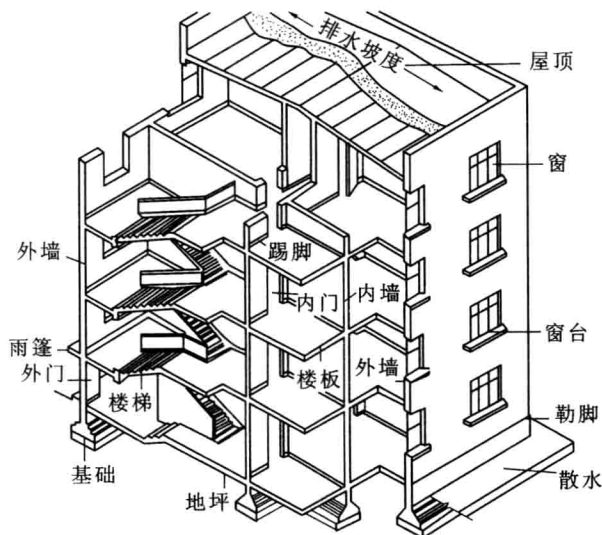


图 4-17 民用建筑的构造组成

①基础:基础位于建筑物的最下部,埋于自然地坪以下,承受上部传来的所有荷载,并把这些荷载传递给下面的土层(该土层称为地基)。

②墙或柱:墙或柱是房屋的竖向承重构件,它承受着由屋盖和各楼层传来的各种荷载,并把这些荷载可靠地传给基础。作为墙体,外墙还有围护的功能,抵御风霜雪雨及寒暑对室内的影响,内墙还有分隔房间的作用,所以对墙体还常提出保温、隔热、隔声等要求。

③楼地层:楼地层指楼板层与地坪层。楼板层直接承受着各楼层上的家具、设备、人的重量和楼层自重,同时楼层对墙或柱有水平支撑的作用,传递着风、地震等侧向水平荷载,并把上述各种荷载传递给墙或柱。楼层常由面层、结构层和顶棚三部分组成,对房屋有竖向分隔空间的作用。

④屋顶:屋顶既是承重构件又是围护构件。作为承重构件,和楼板层相似,承受着直接作用于屋顶的各种荷载,同时在房屋顶部起着水平传力构件的作用,并把本身承受的各种荷载直接传给墙或柱。屋顶也分为屋面层、结构层和顶棚。屋面层用以抵御自然界的风霜雪雨、太阳辐射等作用。

⑤楼梯:楼梯是建筑的竖向通行设施。对楼梯的基本要求是有足够的通行能力,以满足人们在平时和紧急状态时通行和疏散的需求。同时,还应有足够的承载能力,并且应满足坚固、耐磨、防滑等要求。

⑥门与窗:门与窗属于围护构件,都有采光通风的作用。门的基本功能还有保持建筑物内部与外部或各内部空间的联系与分隔。对门窗的要求有保温、隔热、隔声等。

## (2)工业建筑

单层工业厂房的结构支承方式基本上可分为排架结构与钢架结构两类。排架结构是指柱与基础为刚接,屋架与柱顶的连接为铰接。单层工业厂房通常由基础、柱子、屋盖结构、吊车梁、支撑和维护结构组成。

多层工业建筑常用的结构形式为骨架结构,按材料可分为砖石混合结构、钢筋混凝土结构、钢结构。选择时应根据厂房的用途、规模、工艺和起重运输设备、施工条件、材料供应情况等因素,综合分析确定。

①砖石混合结构:它由砖柱和钢筋混凝土屋架或屋面大梁组成,也有由砖柱和木屋架或轻钢及组合屋架组成的。

②钢筋混凝土结构:这种结构坚固耐久,可预制装配,与钢结构相比可节约钢材,造价较低,故在国内外的单层厂房中得到了广泛的应用。但其自重较大,抗震性能不如钢结构。

③钢结构:它的主要承重构件全部用钢材做成,这种结构抗震性能好、构件较轻(与钢筋混凝土比)、施工速度快,除用于吊车载重、高温或振动大的车间以外,对于要求建设速度快、早投产早受益的工业厂房,也可采用钢结构。但钢结构易锈蚀,耐火性能较差,使用时应采用相应的防护措施。

## 4.3 建筑设计

建筑设计是指建筑物在建筑、结构、设备等方面的综合性设计工作,是由建筑师来承担和完成的设计工作。

### 4.3.1 建筑设计的内容

建筑设计内容包括建筑设计、结构设计和设备设计等。

#### 4.3.1.1 建筑设计

建筑设计主要是根据建设单位提供的任务书,在满足总体规划的前提下,对基地环境、建筑功能、材料设备、结构布置、建筑施工、建筑经济和建筑形象等方面做全面的综合分析,提出建筑设计

方案,并将此方案绘制成建筑设计施工图。

#### 4.3.1.2 结构设计

结构设计是在建筑设计的基础上选择结构方案,确定结构类型,进行结构计算与结构设计,最后完成结构施工图。

#### 4.3.1.3 设备设计

设备设计包括给排水、采暖通风、电气照明、通信、燃气、动力等专业的设计,确定其方案类型、设备选型并完成相应的施工图设计。

### 4.3.2 建筑设计的程序

#### 4.3.2.1 设计准备阶段

##### (1)熟悉设计任务书或可行性研究报告

设计任务书或可行性研究报告的内容包括:建设项目总要求和建设目的,具体使用要求,总投资和单方造价,建设基地状况,供水、供电、采暖、空调等设备方面要求,设计期限等。

##### (2)搜集有关设计资料

设计资料包括气象、基地地形及地质水文、水电等设备管线资料,设计项目的国家有关定额指标等。

##### (3)调查研究

调查研究的主要内容是建筑物使用要求、材料供应和基地勘测、当地传统的风俗习惯等。

#### 4.3.2.2 设计阶段

建筑工程设计一般分为初步设计和施工图设计两个阶段。大型和重要的民用建筑工程,在初步设计前,应进行设计方案优选。小型和简单的建筑工程,可由方案设计代替初步设计。

技术复杂的建设项目,根据主管部门的要求,可以按初步设计、技术设计和施工图设计三个阶段进行。

##### (1)初步设计阶段

初步设计阶段的任务是提出设计方案。初步设计的内容包括设计说明、设计图纸、主要设备材料和工程概算。

①设计说明。设计说明包括工程设计的主要依据、规模、总指标、建筑防水、卫生标准等。

②设计图纸。设计图纸包括建筑总平面图、各层平面图及主要剖面图、立面图等。常用比例为1:50、1:100、1:200或1:1000。

③主要设备材料用量和工程概算。

##### (2)技术设计阶段

技术设计阶段的主要任务是在批准的初步设计的基础上,进一步深化和完善初步设计,为各专业工种之间提供资料,提出要求,最后确定方案。

技术设计的各种图纸和设计文件与初步设计大致相同,但每一部分要求更具体、详细。要求建筑图标注有关的详细尺寸,并编制建筑部分的技术说明。要求结构图绘出房屋的结构布置方案,并附初步设计说明。其他专业也要提供相应的设备图纸及说明书。

### (3) 施工图设计阶段

施工图设计是建筑设计的最后阶段,它的任务是绘制满足施工要求的全套图纸。施工图设计的内容为:确定全部工程尺寸和材料,绘制建筑、结构、设备等全部施工图纸,编制工程说明书、结构计算书和工程预算书。

施工设计图纸有:

①设计说明。设计说明包括建设地点、建筑规模、建筑面积、抗震设计烈度、人防工程等级,主要结构类型,建筑总图绝对标高与相对标高的关系,建筑室内外各部分装饰做法,用料的说明等。

②总平面图。总平面图标明基地上建筑物、道路、绿化等位置的尺寸、标高,注明指北针及风玫瑰图。常用比例为 1:500、1:1000 或 1:2000。

③各层平面图。各层平面图包括底层平面图、楼层平面图、屋顶平面图。常用比例为 1:50、1:100 或 1:200。

④立面图。立面图上画出两端轴线及其编号,建筑物各部分建筑材料与色彩或结点详图索引,标注各剖面图上表示不出的各部位标高和高度,常用比例同平面图。

⑤剖面图。剖面图的剖切位置要选择在层高不同、层数不同,内外空间比较复杂,具有代表性的部位,要注明墙柱轴线及编号,剖视方向可见的所有建筑物构配件的内容,标明建筑物构配件的高度尺寸、相应标高。常用比例同平面图。

⑥详图。在建筑详图、立面图、剖面图中未能表示清楚的一些局部构造、建筑装饰做法应绘制详图,标明该局部构造尺寸及详细做法。主要有墙身、檐口、楼梯、门窗以及各构件的连接结点和各部分的装饰等详图。常用比例为 1:1、1:2、1:5、1:10、1:20 或 1:50。

⑦各专业工种的施工图。各专业工种的施工图包括基础平面图、楼板及屋顶平面图和详图、结构构造结点详图,以及给排水、电气照明、暖气空调、上下水等设备施工图。

## 4.4 建筑工程施工技术

### 4.4.1 土方工程

#### 4.4.1.1 土方工程施工辅助工作

土方工程常用的施工辅助工作有支护和降低地下水位。

##### (1) 支护结构

土方开挖时当地质条件和周围环境不允许放坡时可使用如下特殊支护结构:

①横撑式支撑(图 4-18);

②护坡桩挡墙,主要有钢板桩挡墙、H 型钢桩挡墙、钻孔灌注桩及人工挖孔桩挡墙、深层搅拌水泥土桩及旋喷桩挡墙、锚固形式挡墙(图 4-19)等;

③土钉墙支护的工艺过程:挖土→喷射混凝土→打孔→插筋、注浆→铺放、压固钢筋网→喷射混凝土→挖下层土;

④地下连续墙的工艺过程:做导槽→钻槽孔→放钢筋笼→水下灌注混凝土→基坑开挖与支撑。

##### (2) 降低地下水位

基坑施工中常受到地下水的影响,给基坑周围的环境和设施带来危害,为满足支护结构和土方开挖的施工要求,施工中就需要降低地下水位,也称为地下水控制,常采用的方法有集水坑降水法和井点降水法。

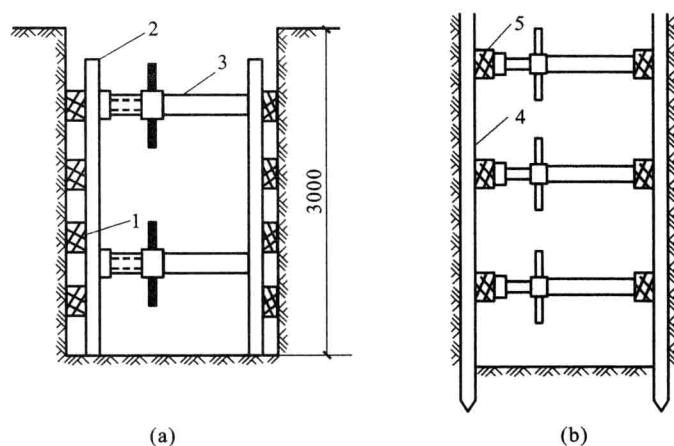


图 4-18 横撑式支撑

(a) 连续式水平挡土板支撑; (b) 垂直挡土板支撑

1—水平挡土板; 2—竖楞木; 3—工具式横撑; 4—竖直挡土板; 5—横楞木

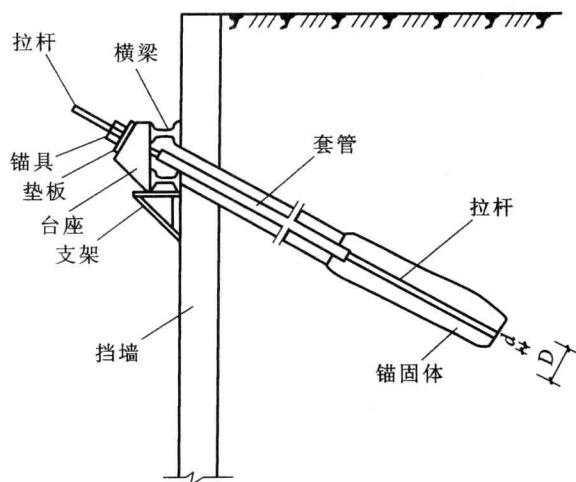


图 4-19 锚固形式挡墙

## ① 集水坑降水法。

集水坑降水法是在基坑开挖过程中,在基坑底设置集水坑,沿基坑底部的周围或中央开挖排水沟,使水流入集水坑中,然后用水泵抽出。抽出的水应及时引开,以防止水的倒流。集水坑应设置在基础范围以外,地下水流的上游。通常根据地下水量的大小、基坑平面形状及水泵的能力,每隔 20~40m 设置一个集水坑。建筑工程中用于排水的水泵主要有离心泵、潜水泵和软轴水泵等。

## ② 井点降水法。

井点降水法是在基坑开挖前,预先在基坑四周埋设一定数量的滤水井(管),然后用抽水设备从中抽水,以便地下水位降到基坑底以下,同时在基坑的开挖过程中仍应不断抽水,以便所挖的土保持干燥,从而防止流沙现象的产生。井点降水法可分为轻型井点、喷射井点、管井井点、电渗井点及深井井点等,一般根据土的渗透系数、工程特点、降低水位的深度及设备条件综合选用。通过井点降水排除土中的水分,可以改变边坡的坡度,从而减少了土方开挖的数量,并且还能够防止基底隆起和加速地基的固结,有利于提高工程的质量。

#### 4.4.1.2 基坑(槽)施工

①房屋定位。在基础施工之前根据建筑总平面图设计要求,将拟建房屋的平面位置和零点标高在地面上固定下来。定位一般用经纬仪、水准仪和钢尺等测量仪器,根据主轴线控制点,将外墙轴线的四个交点用木桩测设在地面上。房屋外墙轴线测定后,根据建筑平面图将内部纵横的所有轴线都一一测出,并用木桩及桩顶面小钉标志出来。

②房屋定位后,根据基础的宽度、土质情况、基础埋置深度及施工方法,计算确定基坑(槽)上口开挖宽度,拉通线后用石灰在地面上画出基坑(槽)开挖的上口边线即放线。

③计算基(槽)开挖宽度。

④开挖基坑(槽)土方。

开挖基坑(槽)土方的工艺流程为:确定开挖的顺序和坡度→分段分层平均下挖→修帮和清底。

a. 确定开挖的顺序和坡度。

开挖基坑(槽)或管沟时,应合理确定开挖顺序、路线及开挖深度。当采用推土机开挖大型基坑(槽)时,一般应从两端或顶端开始(纵向)推土,把土推向中部或顶端,暂时堆积,然后再横向将土推离基坑(槽)的两侧。当采用反铲、拉铲挖土机开挖基坑(槽)或管沟时,其施工方法有如下两种。

I. 端头挖土法:挖土机从基坑(槽)或管沟的端头以倒退行驶的方法进行开挖,自卸汽车配置在挖土机的两侧装运土。

II. 侧向挖土法:挖土机一面沿着基坑(槽)或管沟的一侧移动,自卸汽车在另一侧装运土。当采用铲运机开挖大型基坑(槽)时,应纵向分行、分层按照坡度线向下铲挖,但每层的中心线地段应比两边稍高一些,以防积水。当挖土机沿挖方边缘移动时,机械距离边坡上缘的宽度不得小于基坑(槽)或管沟深度的 $1/2$ 。如挖土深度超过 $5\text{m}$ 时,应按专业性施工方案来确定。

b. 分段分层平均下挖。

土方开挖宜从上到下分层分段依次进行,随时做成一定坡势,以利泄水。在开挖过程中,应随时检查槽壁和边坡的状态。当深度大于 $1.5\text{m}$ 时,根据土质变化情况,应做好基坑(槽)或管沟的支撑准备,以防坍塌。在开挖基坑(槽)和管沟时,不得挖至设计标高以下,如不能准确地挖至设计基底标高时,可在设计标高以上暂留一层土不挖,以便在抄平后,由人工挖出。对于机械施工挖不到的土方,应配合人工随时进行挖掘,并用手推车把土运到机械挖到的地方,以便及时用机械挖走。

c. 修帮和清底。

在距槽底设计标高 $50\text{cm}$ 槽帮处,抄出水平线,钉上小木橛,然后用人工将暂留土层挖走。同时由两端轴线(中心线)引桩拉通线(用小线或铅丝),检查距槽边尺寸,确定槽宽标准,以此修整槽边。最后清除槽底土方。槽底修理铲平后,进行质量检查验收。开挖基坑(槽)的土方,在场地有条件堆放时,一定要留足回填需用的好土,多余的土方应一次运走,避免二次搬运。

#### 4.4.1.3 土方回填

机械回填土施工工艺的流程为:基坑底地坪清理→检验土质→分层铺土→分层碾压密实→检验密实度→修整找平验收。具体要求如下:

①填土前,应将基土上的洞穴或基底表面上的树根、垃圾等杂物都处理完毕,清除干净。

②检验土质。检验回填土料的种类、粒径,有无杂物,是否符合规定;土料的含水量是否在控制范围内,如含水量偏高,可采用翻松、晾晒或均匀掺入干土等措施,如遇填料含水量偏低,可采用预先洒水润湿等措施。

③填土应分层铺摊,每层铺土的厚度应根据土质、密实度要求和机具性能确定,或按表 4-2 选用。

表 4-2

填土时每层的铺土厚度和压实遍数

压实机具	每层铺土厚度/mm	每层压实遍数/遍
平碾	200~300	6~8
羊足碾	200~350	8~16
振动平碾	600~1500	6~8
蛙式、柴油式打夯机	200~250	3~4

④填土的压实方法一般有碾压、夯实、振动压实等几种。碾压法是靠沿填筑面滚动的鼓筒或轮子的压力压实填土的,适用于大面积填土工程。碾压机械有平碾(压路机)、羊足碾、振动碾和轮胎碾。碾压机械进行大面积填方碾压,宜采用“薄填、低速、多遍”的方法。夯实方法是利用夯锤自由下落的冲击力来夯实填土,适用于小面积填土的压实。夯实机械有夯锤、内燃夯土机和蛙式打夯机等。

⑤碾压时,轮(夯)迹应相互搭接,防止漏压或漏夯,长宽比较大时,填土应分段进行。每层接缝处应做成斜坡形,碾迹重叠 0.5~1.0m,上下层错缝距离不应小于 1m。

⑥当填方超出基底表面时,应保证边缘部位的压实质量。填土后,如设计不要求边坡修整,宜将填方边缘宽填 0.5m,如设计要求边坡修平拍实,宽填可为 0.2m。

⑦在机械施工碾压不到的填土部位,应配合人工推土填充,用蛙式或柴油打夯机分层夯打密实。

⑧回填土方每层压实后,应按规定进行环刀取样,测出干土的质量密度,达到要求后,再进行上一层的铺土。

⑨填方全部完成后,表面应进行拉线找平,凡超过标准高程的地方应及时依线铲平,凡低于标准高程的地方,应补土找平夯实。

#### 4.4.2 地基与基础工程

##### 4.4.2.1 地基的处理

建筑结构地基处理常用的方法主要有换土法、挤密桩复合地基、重锤夯实法、强夯法等。

##### (1) 换土法

当建筑物的地基土为软弱土、不均匀土、湿陷性土、膨胀土、冻胀土等,不能满足上部结构对地基强度和变形的要求,而软弱土层的厚度又不是很大时,常采用换土法(也称为换土垫层法)处理,即将基础下一定范围内的土层挖去,然后换填密度大、强度高的砂、碎石、灰土、素土以及粉煤灰、矿渣等性能稳定、无侵蚀性的材料,并分层夯(振、压)实至设计要求的密实度。换土法的处理深度通常控制在 3m 以内时较为经济合理。按垫层采用材料的不同划分,垫层类型包括混凝土垫层、砂石垫层、灰土垫层和三合土垫层等。

##### (2) 挤密桩复合地基

挤密桩复合地基常用的有土挤密桩和灰土挤密桩,其原理是利用沉管、冲击或爆扩等方法成孔时的侧向挤土作用,使桩间一定范围内的土得以挤密、扰动和重塑,然后将桩孔用素土或灰土分层夯填密实,前者称为土挤密桩,后者称为灰土挤密桩。挤密桩复合地基属于深层挤密加固地基处理



的一种方法,是一种人工复合地基。

土挤密桩和灰土挤密桩的施工工艺包括成孔和孔内回填夯实两部分。常用的成孔方法有锤击沉管成孔、振动沉管成孔、冲击成孔、爆扩成孔及人工挖孔等方法,通常应按设计要求、成孔设备、现场土质和周围环境等因素确定。夯实机械种类较多,按提锤方法有偏心轮夹杆式和卷扬机提升式两种。

土挤密桩法和灰土挤密桩法适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基,可处理的深度为 5~15m(应根据建筑场地的土质情况、工程要求和成孔及夯实设备等综合因素确定)。当以消除地基土的湿陷性为主要目的时,宜选用土挤密桩法;当以提高地基土的承载力为主要目的时,宜选用灰土挤密桩法;当地基土的含水量大于 24%、饱和度大于 65%时,不宜选用土挤密桩法和灰土挤密桩法。

### (3)重锤夯实法

重锤夯实法是利用起重设备将夯锤提升到一定高度,然后自由落锤,利用夯锤自由下落时的冲击力来夯实土层表面,重复夯打使浅层地基土或分层填土夯实,形成一层较为均匀的硬壳层,从而使地基得到加固。

重锤夯实法一般适用于处理地下水位以上稍湿的黏性土、砂土、杂填土和分层填土,以提高其强度,减少其压缩性和不均匀性,也可用于消除湿陷性黄土的表层湿陷性,但当夯击振动对邻近建筑物或设备产生不利影响时,或当地下水位高于有效夯实深度,以及当有效夯实深度内存在软弱土时,不得采用重锤夯实法。

### (4)强夯法

强夯法是利用起重设备将重锤(质量一般为 8~40t)提升到较大高度(一般为 10~40m)后,自由落下,将产生的巨大冲击能量和振动能量作用于地基,从而在一定范围内提高地基的强度,降低压缩性,是改善地基抵抗振动液化的能力、消除湿陷性黄土湿陷性的一种有效的地基加固方法。

强夯法适用于碎石土、砂土、低饱和度的粉土、黏性土、杂填土、素填土、湿陷性黄土等各类地基的处理。对淤泥和淤泥质土地基,强夯处理效果不佳,应慎重。另外,强夯法施工时振动大、噪声大,对邻近建筑物的安全和居民的正常生活有一定影响,所以在城市市区或居民密集的地段不宜采用。

## 4.4.2.2 无筋扩展基础施工

### (1)施工工艺流程

无筋扩展基础施工的工艺流程为:基底土质验槽→施工垫层→在垫层上弹线抄平→基础施工。

### (2)施工要点

基础施工前,应先行验槽并将地基表面的浮土及垃圾清除干净。在主要轴线部位设置引桩控制轴线位置,并以此放出墙身轴线和基础边线。在基础转角、交接及高低踏步处应预先立好皮数杆。基础底标高不同时,应从低处砌起,并由高处向低处搭接。砖砌大放脚通常采用一顺一丁砌筑方式,最下一皮砖以丁砌为主。水平灰缝和竖向灰缝的厚度应控制在 10mm 左右,砂浆饱满度不得小于 80%,错缝搭接,在丁字及十字接头处要隔皮砌通。

毛石基础砌筑时,第一皮石块应坐浆,并大面向下。砌体应分皮卧砌,上下错缝,内外搭接,按规定设置拉结石,不得采用先砌外边后填心的砌筑方法。阶梯处,上阶的石块应至少压下阶石块的 1/2。石块间较大的空隙应填塞砂浆后用碎石嵌实,不得采用先放碎石后灌浆或干填碎石的方法。基础砌筑完成验收合格后,应及时回填,回填土要在基础两侧同时进行,并分层夯实,压实系数应符合设计要求。

#### 4.4.2.3 扩展基础施工

##### (1) 施工工艺流程

扩展基础施工的工艺流程为:基底土质验槽→施工垫层→在垫层上弹线抄平→基础施工。

##### (2) 施工要点

基础施工前,应进行验槽并将地基表面的浮土及垃圾清理干净,及时浇筑混凝土垫层,以免地基土被扰动。当垫层达到一定强度后,在其上弹线、绑扎钢筋、支模。钢筋底部应采用与混凝土保护层相同的水泥砂浆垫块垫塞,以保证位置正确。基础上有插筋时,要采取措施加以固定,保证插筋位置的正确,防止浇捣混凝土时发生位移。基础混凝土应分层连续浇筑完成。阶梯形基础应按台阶分层浇筑,每浇筑完一个台阶后应待其初步沉实后,再浇筑上层,以防止下台阶混凝土溢出造成上台阶根部出现烂根,台阶表面应基本抹平。锥形基础的斜面部分模板应随混凝土浇捣分段支设并顶压紧,以防模板上浮变形,边角处混凝土应注意捣实。严禁斜面部分不支模、采用铁锹拍实的方法。

#### 4.4.2.4 灌注桩施工

灌注桩按成孔方法分为泥浆护壁成孔灌注桩、沉管灌注桩、干作业钻孔灌注桩和人工挖孔灌注桩等。

##### (1) 泥浆护壁成孔灌注桩

泥浆护壁成孔灌注桩的施工工艺流程如图 4-20 所示。

##### (2) 沉管灌注桩

为了提高桩的质量和承载能力,沉管灌注桩常采用单打法、复打法、翻插法等施工工艺。

①单打法(又称一次拔管法):拔管时,每提升 0.5~1.0m,振动 5~10s,然后再拔管 0.5~1.0m,这样反复进行,直至全部拔出。

②复打法:在同一桩孔内连续进行两次单打,或根据需要进行局部复打。施工时,应保证前后两次沉管轴线重合,并在混凝土初凝之前进行。

③翻插法:钢管每提升 0.5m,再下插 0.3m,这样反复进行,直至拔出。

锤击沉管灌注桩施工要点:

①桩尖与桩管接口处应垫麻(或草绳)垫圈,以防地下水渗入管内,并可作为缓冲层。沉管时先用低锤锤击,观察无偏移后,才正常施打。

②拔管前,应先锤击或振动套管,在测得混凝土确已流出套管时方可拔管。

③桩管内混凝土尽量填满,拔管时要均匀,保持连续密锤轻击,并控制拔管速度,一般土层以不大于 1m/min 为宜,软弱土层与软硬交界处,应控制在 0.8m/min 以内为宜。

④在管底未拔到桩顶设计标高前,倒打或轻击不得中断,注意使管内的混凝土保持略高于地面,并保持到全管拔出为止。

⑤桩的中心距在 5 倍桩管外径以内或小于 2m 时,均应跳打施工,中间空出的桩需待邻桩混凝土

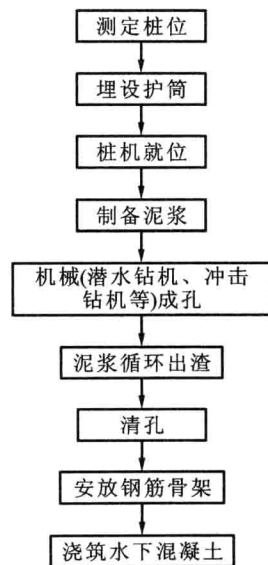


图 4-20 泥浆护壁成孔灌注桩施工流程图

土达到设计强度的 50% 以后,方可施打。

### (3) 人工挖孔大直径灌注桩

人工挖孔大直径灌注桩施工时护壁的支护措施有现浇混凝土护壁、沉井护壁、喷射混凝土护壁等。

现浇混凝土护壁法即分段开挖、分段浇筑混凝土护壁,该方法既能防止孔壁坍塌,又能起到防水作用。桩孔采取分段开挖,每段高度取决于土壁直立状态的能力,一般 0.5~1.0m 为一施工段,开挖井孔直径为设计桩径加混凝土护壁厚度。

护壁施工段,即先支设护壁内模板(工具式活动钢模板)后浇筑混凝土,其强度一般不低于 C15,护壁混凝土要振捣密实,当混凝土强度达到 1MPa(常温下约 24h)可拆除模板,进入下一施工段。如此循环,直至挖到设计要求的深度。

### (4) 钢筋混凝土预制桩

钢筋混凝土预制桩施工时可采用打入法或静力压桩法。

打入法也称锤击法,是利用桩锤落到桩顶上的冲击力来克服土对桩的阻力,使桩沉到预定的深度或达到持力层的一种打桩施工方法。

静力压桩利用压桩架的自重和配重,通过卷扬机牵引,由钢丝绳、滑轮和压梁,将整个桩机的重力(800~1500kN)反压在桩顶上,以克服桩身下沉时与土的摩擦力,迫使预制桩下沉。压桩施工一般采用分节压入、逐段接长的施工方法。

## 4.4.3 钢筋混凝土工程

钢筋混凝土工程包括模板工程、钢筋工程、混凝土工程和预应力混凝土工程。以下主要介绍前三种工程。

### 4.4.3.1 模板工程

模板工程施工包括模板的选材、选型、设计、制作、安装、拆除和周转等过程。模板系统包括模板、支架和紧固件三个部分。模板及其支架应满足如下要求:有足够的承载力、刚度和稳定性,能可靠地承受浇筑混凝土的重力、侧压力以及施工荷载;保证工程结构和构件各部位形状尺寸和相互位置的正确;构造简单,装拆方便,便于钢筋的绑扎与安装、混凝土的浇筑与养护等工艺要求;接缝严密,不得漏浆。

常用的模板有现浇整体式结构模板和组合钢模两种。

#### (1) 现浇整体式结构模板的支设方法

##### ① 基础模板。

阶梯形基础模板(图 4-21)第一阶由四块边模拼成,其中一对侧板与基础边尺寸相同,另一对侧板比基础边尺寸长 150~200mm,在两端加钉木档,用以拼装固定另一对模板,并用斜撑撑牢、固定。第二阶模板通过轿杠置于第一阶上,安装时找准基础轴线及标高,上、下阶中心线互相对准,在安装第二阶前应绑好钢筋。

##### ② 柱子模板。

矩形柱模板由两块相对的内拼板及两块相对的外拼板和柱箍组成。柱模底部留有清扫口,上部开有与梁模板连接的缺口,沿高度每隔 2m 左右开有供混凝土的浇筑口。独立柱子应在模板四周支斜撑,以保证其垂直度。

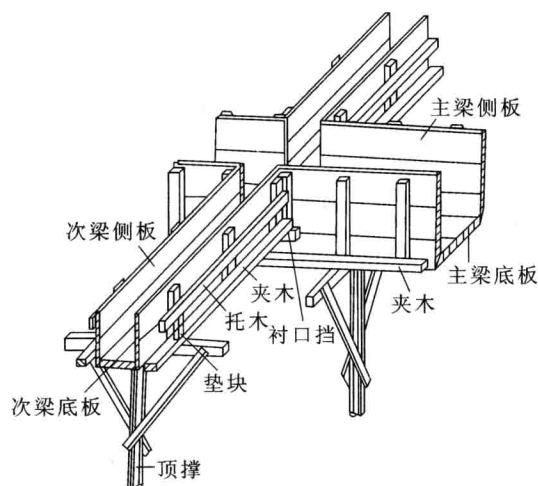


图 4-21 阶梯形基础模板

## ③梁模板。

梁模板主要由底模、侧模、夹木及支架系统组成(图 4-22)。

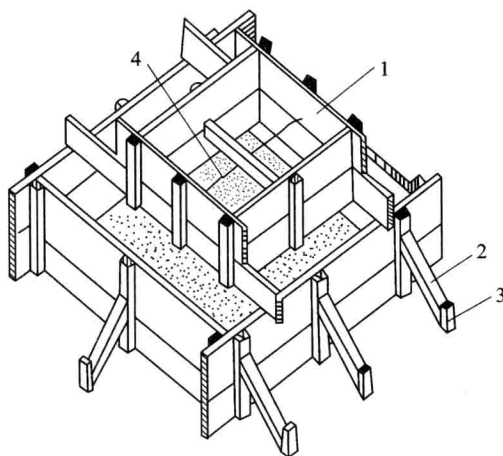


图 4-22 梁模板

1—拼板;2—斜撑;3—木桩;4—铁丝

梁模板安装方法如下:沿梁模板下方地面上铺垫板,在柱模板缺口处钉衬口挡,把底板搁置在衬口挡上,立起靠近柱或墙的顶撑,再将梁长度等分,立起中间部分顶撑,顶撑底下打入木楔,并检查调整标高;把侧模板放上,两头钉于衬口挡上,在侧板底外侧铺钉夹木,再钉上斜撑和水平拉条。

## ④楼板模板。

楼板模板一般用定型模板,支承在楞木上,楞木支承在梁侧模板外的托木上。跨度大的楼板,楞木中间再加一排或多排支撑排架作为支架系统。

## ⑤楼梯模板。

一般先支平台梁模板,再装楼梯斜梁或楼梯底模板、外边板。在两块边板上钉反扶梯基,下面再钉三角木,以形成踏步。

## (2)组合钢模的连接

组合钢模的连接一种方式是在边框上不钻孔,用楞木来固定模板;另一种方式是在边框上按一

定的模数钻孔,再用回形销、U形卡或螺栓连接。

### (3) 模板的拆除

拆模顺序一般是先支后拆,后支先拆,先拆除侧模板,后拆除底模板。对于肋形楼板的拆模顺序,首先拆除柱模板,然后拆除楼板底模板、梁侧模板,最后拆除梁底模板。多层楼板模板支架的拆除,应按下列要求进行:

① 层楼板正在浇筑混凝土时,下一层楼板的模板支架不得拆除,再下一层楼板模板的支架仅可拆除一部分;

② 跨度大于或等于 4m 的梁均应保留支架,其间距不得大于 3m。

### 4.4.3.2 钢筋工程

#### (1) 钢筋的连接

钢筋的连接方式可分为三类:绑扎连接、机械连接和焊接连接。

##### ① 绑扎连接。

钢筋绑扎一般用 18~22 号铁丝,其中 22 号铁丝只用于绑扎直径 12mm 以下的钢筋。钢筋绑扎时应满足如下要求:

- a. 钢筋的交叉点应用铁丝扎牢;柱、梁的箍筋,除设计有特殊要求外,应与受力钢筋垂直。
- b. 箍筋弯钩叠合处,应沿受力钢筋方向错开设置。
- c. 柱中竖向钢筋搭接时,角部钢筋的弯钩平面与模板面的夹角,矩形柱应为  $45^\circ$ ,多边形柱应为模板内角的平分角。
- d. 板、次梁与主梁交叉处,板的钢筋在上,次梁的钢筋居中,主梁的钢筋在下。
- e. 当有圈梁或垫梁时,主梁的钢筋应放在圈梁上,主筋两端的搁置长度应保持均匀一致。

##### ② 机械连接。

钢筋常用的机械连接方法有套筒挤压连接、锥螺纹连接和直螺纹连接等。

a. 套筒挤压连接是把两根待接钢筋的端头先插入一个优质钢套管,然后用挤压机在侧向加压数道,套筒塑性变形后即与带肋钢筋紧密咬合以达到连接的目的。

b. 锥螺纹连接是用锥形纹套筒将两根钢筋端头对接在一起,利用螺纹的机械咬合力传递拉力或压力。所用的设备主要是套丝机,通常安放在现场对钢筋端头进行套丝。

c. 直螺纹连接是近年来开发的一种新的螺纹连接方式,它先把钢筋端部镦粗,然后再切削直螺纹,最后用套筒实行钢筋对接。

##### ③ 焊接连接。

钢筋常用的焊接方法有闪光对焊、电弧焊、电渣压力焊、埋弧压力焊和气压焊等。

a. 闪光对焊是利用对焊机使两段钢筋接触,通过低电压的强电流,把电能转化为热能,当钢筋加热到一定程度后,施加轴向压力顶锻,形成对接焊头。闪光对焊工艺可分为连续闪光焊、预热闪光焊、闪光-预热-闪光焊三种。

b. 电弧焊是利用弧焊机使焊条与焊件之间产生高温电弧,使焊条和电弧燃烧范围内的焊件熔化,待其凝固便形成焊缝或接头。电弧焊广泛用于钢筋接头与钢筋骨架焊接、装配式结构接头焊接、钢筋与钢板焊接及各种钢结构焊接。弧焊机有直流与交流之分,常用的是交流弧焊机。钢筋电弧焊的接头形式有三种:搭接接头、帮条接头及坡口接头。

c. 电渣压力焊是利用电流通过渣池产生的电阻热将钢筋端部熔化,然后施加压力使钢筋焊合。钢筋电渣压力焊分手工操作和自动控制两种。电渣压力焊的焊接参数为焊接电流、渣池电压

和通电时间等,可根据钢筋直径选择。

d. 埋弧压力焊是利用焊剂层下的电弧,将两焊件相邻部位熔化,然后加压顶锻使两焊件焊合。

e. 气压焊是利用乙炔、氧气混合气体燃烧的高温火焰加热钢筋结合端部,待钢筋达到热塑状态时对其施加轴向压力,使其在高温下顶锻接合。

## (2) 钢筋的加工

钢筋的加工有除锈、调直、切断及弯曲成型。

①除锈:大量钢筋除锈可通过钢筋冷拉或钢筋调直机在调直过程中完成;少量的钢筋局部除锈可采用电动除锈机或人工用钢丝刷、砂盘以及喷砂和酸洗等方法进行。

②调直:钢筋调直宜采用机械方法,也可以采用冷拉。对局部曲折、弯曲或成盘的钢筋在使用前应加以调直。钢筋调直方法很多,常用的方法是使用卷扬机拉直和用调直机调直。

③切断:钢筋切断可用钢筋切断机或手动剪切器,切断前应将同规格钢筋长短搭配,统筹安排,一般先断长料,后断短料,以减少短头和损耗。

④弯曲成型:钢筋弯曲有人工弯曲和机械弯曲。钢筋弯曲的顺序是画线、试弯、弯曲成型。

## (3) 钢筋的安装

钢筋安装或现场绑扎应与模板安装配合。柱钢筋现场绑扎时,一般在模板安装前进行,柱钢筋采用预制时,可先安装钢筋骨架,然后安装模板,或先安三面模板,待钢筋骨架安装后再钉第四面模板。梁的钢筋一般在梁模安装好后再安装或绑扎,对梁高度、跨度较大及钢筋较密的大梁,可留一面侧模,待钢筋绑扎或安装好后再钉。楼板钢筋绑扎应在楼板模板安装后进行,并应按设计先画线,然后摆料、绑扎。

### 4.4.3.3 混凝土工程

混凝土工程包括搅拌、运输、浇筑与振捣、养护等工序。

#### (1) 混凝土的搅拌

##### ①混凝土搅拌机。

混凝土搅拌机按搅拌原理分为自落式和强制式两类。自落式搅拌机多用于搅拌塑性混凝土和低流动性混凝土;强制式搅拌机多用于搅拌干硬性混凝土和轻骨料混凝土,也可以搅拌低流动性混凝土。

##### ②混凝土的搅拌时间。

混凝土的搅拌时间是指从砂、石、水泥和水等全部材料投入搅拌筒算起,到开始卸料为止所经历的时间。在一定范围内,随搅拌时间的延长,强度有所提高,但过长时间的搅拌既不经济,而且混凝土的和易性又将降低,影响混凝土的质量。

##### ③投料顺序。

a. 一次投料法:在上料斗中先装石子,再加水泥和砂,然后一次投入搅拌筒中进行搅拌。

b. 二次投料法:先向搅拌机内投入水和水泥,待其搅拌 1min 后再投入石子和砂继续搅拌到规定时间。这种投料方法,能改善混凝土性能,提高混凝土的强度,在保证规定的混凝土强度的前提下节约水泥。

c. 水泥裹砂石法:分两次加水,两次搅拌。先将全部砂、石子和部分水倒入搅拌机拌和,使骨料湿润,称之为造壳搅拌,搅拌时间以 45~75s 为宜,再倒入全部水泥搅拌 20s,加入拌和水和外加剂进行第二次搅拌,60s 左右完成。用这种方法拌制的混凝土称为造壳混凝土(简称 SEC 混凝土)。

#### (2) 混凝土的运输

### ①混凝土运输的要求。

运输中的全部时间不应超过混凝土的初凝时间。

运输中应保持匀质性,不应产生分层离析现象,不应漏浆;运至浇筑地点应具有规定的坍落度,并保证混凝土在初凝前能有充分的时间进行浇筑。

混凝土的运输道路要求平坦,应以最少的运转次数、最短的时间从搅拌地点运至浇筑地点。

### ②运输工具的选择。

混凝土运输分地面水平运输、垂直运输和楼面水平运输等三种。

地面运输时,短距离多用双轮手推车、机动翻斗车;长距离宜用自卸汽车、混凝土搅拌运输车。

垂直运输可采用各种井架、龙门架和塔式起重机作为垂直运输工具。对于浇筑量大、浇筑速度比较稳定的大型设备基础和高层建筑,宜采用混凝土泵,也可采用自升式塔式起重机或爬升式塔式起重机运输。

泵送混凝土利用泵的压力通过专用管道将混凝土运送到浇筑地点,一次完成地面水平运输、垂直运输及楼面水平运输。

### (3)混凝土的浇筑与振捣

混凝土浇筑的一般规定:混凝土浇筑前不应发生离析或初凝现象,如已发生,需重新搅拌。混凝土运至现场后,其坍落度应满足规范要求;混凝土自高处倾落时,其自由倾落高度不宜超过 2m。若混凝土自由下落高度超过 2m,应设串筒、斜槽、溜管或振动溜管等;混凝土的浇筑工作应尽可能连续进行;混凝土的浇筑应分段、分层连续进行,随浇随捣。混凝土浇筑层厚度应符合规范规定;在竖向结构中浇筑混凝土时,不得发生离析现象。

如果由于技术或施工组织上的原因,不能对混凝土结构一次连续浇筑完毕,而必须停歇较长的时间,其停歇时间已超过混凝土的初凝时间,致使混凝土已初凝,当继续浇混凝土时,形成了接缝,即为施工缝。

根据施工部位的不同,混凝土振捣可采用插入式振捣棒、附着式振动器或平板振动器振捣。振捣与浇筑须配合施工,以确保混凝土的密实。插入式振动器,移动间距不应超过振动棒作用半径的 1.5 倍,振捣的厚度不宜超过 30cm,上层振捣要插入至下层 5~10cm,浇筑上下层混凝土的时间间隔不得超过混凝土的初凝时间。每一振捣点的振捣时间一般为 20~30s 为宜,以混凝土表面不再显著下沉、不再出现气泡、表面平坦、泛出灰浆为准。附着式振动器安装在混凝土侧模,一般采用高低交替布置,每次振动时间不应超过 1min,当混凝土在模内呈翻浆流动或水平状态即可停振,不得在混凝土初凝后再振。平板式振动器应用在混凝土表面,应使平板与混凝土保持接触,使振波有效地振实混凝土,待表面出浆,不再下沉后,即可缓慢向前移动,移动速度应能保证混凝土振实出浆。

### (4)混凝土的养护

在混凝土浇筑完毕后,应在 12h 以内加以覆盖和浇水。干硬性混凝土应于浇筑完毕后立即进行养护。混凝土必须养护至其强度达到  $1.2\text{N/mm}^2$  以上才允许在上面行人和架设支架、安装模板,但不得冲击混凝土。

①洒水养护是用吸水保温能力较强的材料(如草帘、芦席、麻袋、锯末等)将混凝土覆盖,经常洒水使其保持湿润。

②喷洒塑料薄膜养护适用于不易洒水养护的高耸构筑物和大面积混凝土结构及缺水地区。它是将过氯乙烯树脂塑料溶液用喷枪喷洒在混凝土表面上,溶液挥发后在混凝土表面形成一层塑料薄膜,使混凝土与空气隔绝,阻止其中水分的蒸发,以保证水化作用的正常进行。

③蒸汽养护是将构件放置在有饱和蒸汽或蒸汽与空气混合物的养护室(或窑)内,在较高温度



和湿度的环境中进行养护,以加速混凝土的硬化,使之在较短的时间内达到规定的强度标准值。

④真空脱水工艺是对混凝土采取机械强制脱水的方法,利用真空负压将混凝土内的水吸出。

#### 4.4.4 砌筑工程

##### 4.4.4.1 砌筑用脚手架

砌筑用脚手架是墙体砌筑过程中堆放材料和工人进行操作的临时设施。脚手架的分类按搭设位置的不同,分为外脚手架和里脚手架。凡搭在建筑物外圈的架子,称外脚手架;凡搭设在建筑物内部的架子,称里脚手架。按脚手架所用的材料分为木制脚手架、竹制脚手架和钢制脚手架等。

##### (1) 外脚手架

常用的外脚手架有扣件式、碗扣式和门式三种。

##### ① 扣件式钢管脚手架。

扣件式钢管脚手架由钢管和扣件组成,如图 4-23 所示。扣件为钢管与钢管之间的连接件,其基本形式有直角扣件、对接扣件和回转扣件三种。扣件式钢管脚手架的主要构件有立杆、大横杆、斜杆和底座等,一般均采用外径 48mm,壁厚 3.5mm 的焊接钢管。底座有两种,一种用厚 8mm、边长 150mm 的钢管做底板,用外径 60mm,壁厚 3.5mm,长 150mm 的钢管做套筒,两者焊接而成;另一种是用可锻铸铁铸成,底板厚 10mm,直径 150mm,插芯直径 36mm,高 150mm。

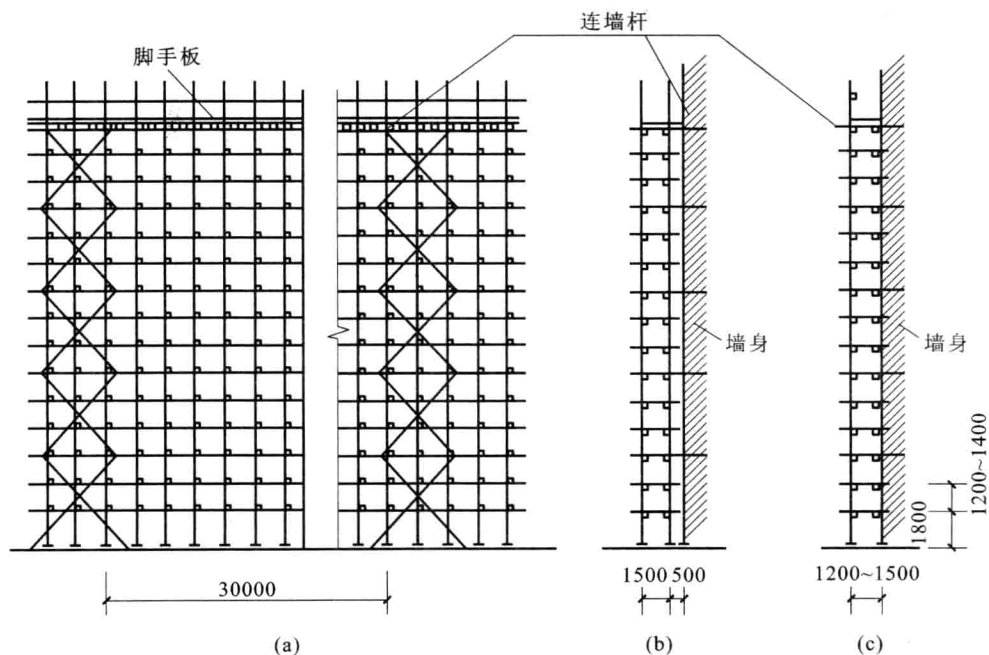


图 4-23 扣件式钢管脚手架

##### ② 碗扣式钢管脚手架。

碗扣式钢管脚手架也称多功能碗扣型脚手架。这种新型脚手架的核心部件是碗扣接头,由上下碗扣、横杆接头和上碗扣的限位销等组成,如图 4-24 所示。其特点是杆件全部轴向连接,结构简单,力学性能好,接头构造合理,工作安全可靠,装拆方便,不存在扣件丢失问题。

碗扣式钢管脚手架的主要构配件由立杆、顶杆、横杆、斜杆和底座等组成,如图 4-25 所示。立

杆和顶杆各有两种规格,在杆上均焊有间距为 600mm 的下碗扣,每一碗扣接头可同时连接 4 根横杆,可以构成任意高度脚手架,立杆接长时接头应错开,至顶层再用两种顶杆找平。专用构件有支撑柱垫座、支撑柱转角座、支撑柱可调座、提升滑轮、悬挑架和爬升挑架等。

### ③ 门式钢管脚手架。

门式钢管脚手架由门式框架、剪刀撑和水平梁架或脚手板构成基本单元,如图 4-26 所示。将基本单元连接起来(或增加梯子和栏杆等部件)即构成整片脚手架。门式脚手架一般的搭设程序如图 4-27 所示。

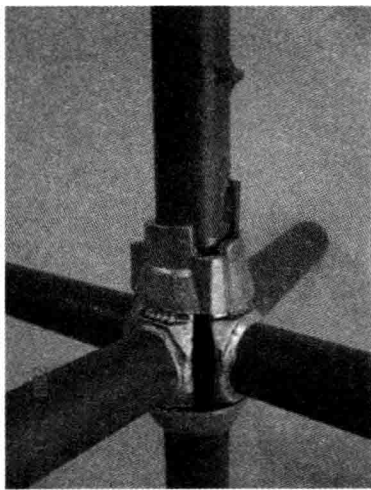


图 4-24 碗扣接头



图 4-25 碗扣式钢管脚手架

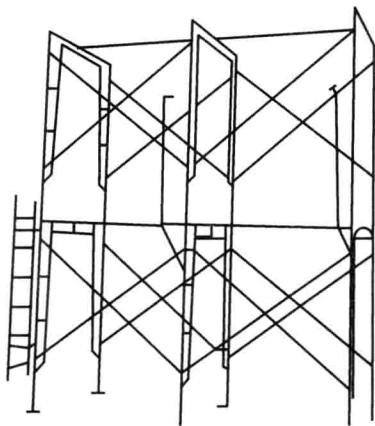


图 4-26 门式钢管脚手架

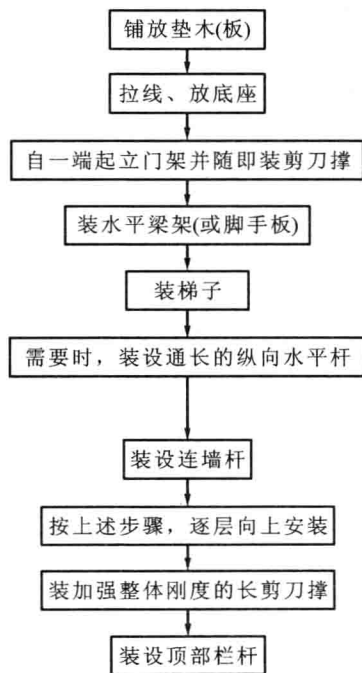


图 4-27 门式钢管脚手架搭设程序

### (2)里脚手架

里脚手架是搭设在建筑物内部的一种脚手架,一般用于墙体高度不大于4m的房屋。混合结构房屋墙体砌筑多采用工具式里脚手架,将脚手架搭设在各层楼板上,待砌完一层墙体后即将脚手架全部运到上一个楼层上。使用里脚手架,每一层楼只需要搭设2~3步架。里脚手架所用工料较少,比较经济,因而被广泛采用。但是,用里脚手架砌外墙时,特别是清水墙,工人在外墙的内侧操作,要保证外侧砌体表面平整度、灰缝平直度及不出现游丁走缝现象,对工人的操作技能要求较高。常用的里脚手架有角钢(钢筋、钢管)折叠式里脚手架、支柱式里脚手架和木(竹、钢)制马凳式里脚手架。

#### 4.4.4.2 砖砌体施工

砌砖施工通常包括抄平、放线、摆砖样、立皮数杆、砌筑、清理和勾缝等工序。

抄平是指砌砖前应在基础顶面或楼面上定出各楼层标高,并用M7.5的水泥砂浆或C10细石混凝土找平,使各段砖墙能在同一标高位置开始砌筑。

放线是根据轴线桩或龙门板上轴线位置,在做好的基础顶面弹出墙身中线及边线,同时弹出门口的位置,以确定各段墙体砌筑的位置。二层以上墙的轴线可以用经纬仪或锤球将轴线引上,并弹出各墙的轴线、边线、门窗洞口位置线。

#### 4.4.4.3 混凝土小型砌块施工

混凝土小型砌块施工时一般按施工段依次进行,其次序为先外后内、先远后近、先下后上。砌块砌筑时应从转角处或定位砌块处开始的外墙同时砌筑,在相邻施工段之间留阶梯型斜槎。砌筑应满足错缝搭接、横平竖直、表面清洁的要求。

#### 4.4.4.4 框架填充墙施工

填充墙采用烧结多孔砖、烧结空心砖进行砌筑时,应提前2d浇水湿润。采用蒸压加气混凝土砌块砌筑时,应向砌筑面适量浇水。墙体的灰缝应横平竖直、厚薄均匀,并应填满砂浆,竖缝不得出现透明缝、瞎缝。多孔砖应采用一顺一丁或梅花丁的组砌形式。多孔砖的孔洞应垂直面受压,砌筑前应先进行试摆。

填充墙拉结筋的设置:框架柱和梁施工完后,就应按设计砌筑内外墙体,墙体应与框架柱进行锚固,锚固拉结筋的规格、数量、间距、长度应符合设计要求。当设计无规定时,一般应在框架柱施工时预埋锚筋,锚筋的位置必须准确。砌体施工时,将锚筋凿出并拉直砌在砌体的水平砌缝中,确保墙体与框架柱的连接。采用轻骨料混凝土小型空心砌块或蒸压加气混凝土砌块施工时,墙底部应先砌烧结普通砖或多孔砖,或现浇混凝土坎台等,其高度不宜小于200mm。卫生间、浴室等潮湿房间在砌体的底部应现浇宽度不小于120mm、高度不小于100mm的混凝土导墙,待达到一定强度后再在上面砌筑墙体。门窗洞口的侧壁也应用烧结普通砖镶框砌筑,并与砌块相互咬合。填充墙砌至接近梁底、板底时,应留一定空隙,待填充墙砌筑完毕并应至少间隔7d后采用烧结普通砖侧砌,并用砂浆填塞密实,以加强砌块砌体与框架间的拉结。若设计为空心石膏板隔墙时,应先在柱和框架梁与地坪间加木框,木框与梁柱可用膨胀螺栓等连接,然后在木框内加设木筋,木筋的间距应根据空心石膏板宽度而定。当空心石膏板的刚度及强度满足要求时,可直接安装。

### 4.4.5 结构安装工程

#### 4.4.5.1 起重机械

结构安装用的起重机械主要有:桅杆式起重机、自行式起重机、塔式起重机以及索具设备。

##### ①桅杆式起重机。

在建筑工程中常用的桅杆式起重机有:独脚拔杆、悬臂拔杆、人字拔杆和牵缆式桅杆起重机。

##### ②自行式起重机。

自行式起重机可分为履带式起重机、汽车式起重机与轮胎式起重机。自行式起重机的优点是灵活性大,移动方便,能为整个建筑工地服务。这类起重机的缺点是稳定性较差。

##### ③塔式起重机。

塔式起重机的起重臂安装在塔身顶部,它具有较大的工作空间,起重高度大,广泛应用于多层及高层装配式结构安装工程。常用的塔式起重机的类型有:轨道式塔式起重机、轮胎式塔式起重机、爬升式塔式起重机、附着式塔式起重机等。

##### ④索具设备。

结构安装工程施工中要使用许多辅助工具,如卷扬机、滑轮组、钢丝绳、吊钩、卡环、横吊梁、柱销等,一般有定型产品可供选用。

#### 4.4.5.2 单层工业厂房结构安装

##### (1)柱子的安装

柱子的安装工艺包括绑扎、吊升、就位和临时固定、校正、最后固定等工序。

##### ①绑扎。

绑扎柱子用的吊具有吊索、卡环和铁扁担等。为使在高空中脱钩方便,尽量采用活络式卡环。为避免起吊时吊索磨损构件表面,要在吊索与构件之间垫以麻袋或木板。一点绑扎时,绑扎位置常选在牛腿下,工字形截面和双肢柱绑扎点应选在实处(工字形柱的矩形截面处和双肢柱的平腹杆处),否则,应在绑扎位置用方木垫平。特殊情况下,绑扎点要计算确定。常用的绑扎方法有斜吊绑扎法和直吊绑扎法。

##### ②吊升。

柱子的吊升方法根据柱子重量、长度、起重机性能和现场施工条件而定。一般可分为旋转法和滑行法两种。

a. 旋转法是在柱子吊升时,起重机边升钩边回转起重杆,使柱子绕柱脚旋转而吊起之后插入杯口,如图 4-28 所示。

b. 滑行法是指柱子起吊时,起重臂不动,仅起重钩上升,柱顶也随之上升,而柱脚则沿地面滑向基础,直至柱身转为直立状态,起重钩将柱脱离地面,对准基础中心,将柱脚插入杯口。

##### ③就位和临时固定。

柱脚插入杯口后,并不立即降至杯底,而是在离杯底 30~50mm 处进行悬空对位。就位的方法是用八只木楔或钢楔从柱的四边打入杯口,并用撬棍撬动柱脚,使柱的安装中心线对准杯口上的安装中心线,并使柱基本保持垂直。柱就位后,将八只楔块略加打紧,放松吊钩,让柱靠自重沉至杯底,再检查一下安装中心线对准的情况,若已符合要求,即将楔块打紧,将柱临时固定。吊装重型柱或细长柱时,除采用八只楔块临时固定外,必要时增设缆风绳拉锚。

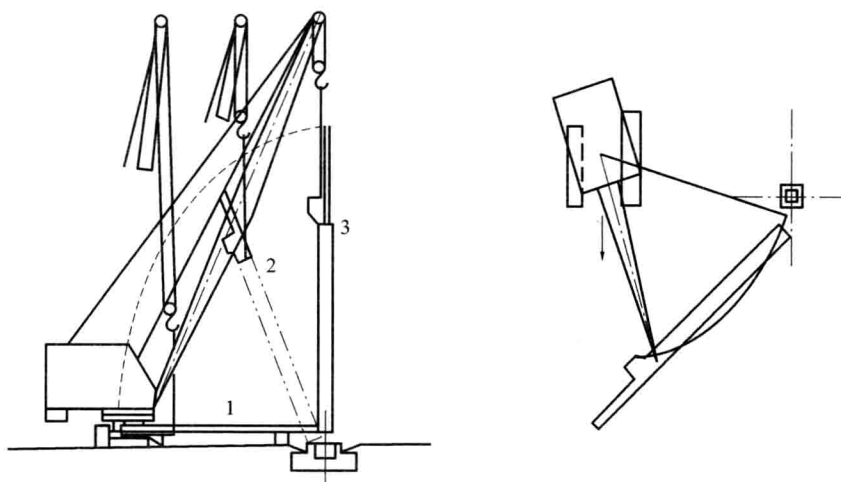


图 4-28 旋转法吊装柱

## ④校正。

在柱临时固定后,则需进行柱垂直度的校正。柱垂直偏差的检查方法是用两架经纬仪从柱相邻的两边(视线应基本与柱面垂直)检查柱安装中心线的垂直度。在没有经纬仪的情况上,也可用垂球进行检查。

## ⑤最后固定。

柱校正后,应立即进行最后固定。最后固定的方法是在柱脚与杯口的空隙中灌注细石混凝土,所用混凝土的强度等级可比原构件的混凝土强度等级提高一级。混凝土的灌注分两次进行,第一次:灌注混凝土至楔块下端;第二次:当第一次灌注的混凝土达到设计的强度标准值 25% 时,即可拔出楔块,将杯口灌满混凝土。

## (2) 吊车梁的安装

吊车梁的安装必须在柱子杯口第二次浇筑的混凝土强度标准值达到 75% 以后进行。其安装程序如下:

## ①绑扎、起吊、就位、临时固定。

吊车梁绑扎时,两根吊索要等长,绑扎点对称设置,吊钩对准梁的重心,以使吊车梁起吊后能基本保持水平,梁的两端设拉绳控制,避免悬空时碰撞柱子。吊车梁本身的稳定性较好,一般对位时仅用垫铁垫平即可,无须采取临时固定措施,起重机即可松钩移走。当梁高与底宽之比大于 4 时,可用 8 号铁丝将梁捆在柱上,以防倾倒。

吊车梁对位时应缓慢降钩,使吊车梁端部与柱牛腿面的横轴线对准。在对位过程中不宜用撬棍顺纵轴方向撬动吊车梁,因为柱子顺纵轴线方向的刚度较差,撬动后会使得柱顶产生偏移。假如横线未对准,应将吊车梁吊起,再重新对位。

## ②校正和最后固定。

吊车梁的校正主要包括标高校正、垂直度校正和平面位置校正等。吊车梁的标高主要取决于柱子牛腿的标高。吊车梁的标高在做基础抄平时,已对牛腿面至柱脚的距离作过测量和调整,如仍存在误差,可待安装吊车轨道时,在吊车梁面上抹一层砂浆找平即可。吊车梁平面位置的校正,包括纵轴线和两吊车梁之间的跨距两项。检查吊车梁纵轴线偏差的方法有通线法、平移轴线法、边吊边校法等。

### (3) 屋架的安装

工业厂房的钢筋混凝土屋架一般在施工现场平卧预制。其安装的施工顺序是:绑扎、扶直与就位、吊升、对位、临时固定、校正和最后固定。

#### ① 绑扎。

屋架的绑扎点应选在上弦节点处,左右对称,并高于屋架重心,在屋架两端应加拉绳,以控制屋架转动。绑扎时吊索与水平线的夹角不宜小于  $45^\circ$ ,以免屋架承受过大的横向压力。必要时,为了减少屋架的起吊高度及所受横向压力,可采用横吊梁。

#### ② 扶直与就位。

屋架在安装前,先要翻身扶直,并将屋架吊运至预定地点就位。扶直屋架时,由于起重机与屋架相对位置不同,可分为正向扶直与反向扶直。

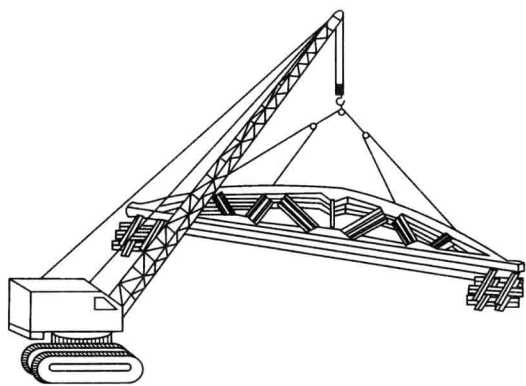


图 4-29 屋架的正向扶直

a. 正向扶直是起重机位于屋架下弦一边,吊钩对准屋架上弦中点,收紧吊钩,然后略起臂使屋架脱模,接着起重机升钩并升起重臂,使屋架以下弦为轴转为直立状态,如图 4-29 所示。

b. 反向扶直是起重机立于屋架上弦一边,吊钩对准屋架上弦中点,收紧吊钩,接着升钩并降低起重臂,使屋架以下弦为轴缓缓转为直立状态。

#### ③ 吊升、对位与临时固定。

屋架吊升是先将屋架吊离地面约 300mm,然后将屋架转至吊装位置下方,再将屋架提升超过柱顶约 300mm,然后将屋架缓缓降至柱顶,进行对

位。屋架对位应以建筑物的定位轴线为准,因此在屋架吊装前,应用经纬仪或其他工具在柱顶放出建筑物的定位轴线,如柱顶截面中线与定位轴线偏差过大时,可逐渐调整纠正。屋架对位后,立即进行临时固定,临时固定稳妥后,起重机方可摘钩离去。

#### ④ 校正、最后固定。

屋架经对位、临时固定后,主要校正垂直度偏差,检查时可用垂球或经纬仪。用经纬仪检查是将仪器安置在被检查屋架的跨外,距柱的横轴线约 1m,然后观测屋架中间腹杆上的中心线(安装前已弹好),如偏差超出规定数值,可转动工具式支撑上的螺栓加以纠正,并在屋架端部支承面垫入薄钢片。校正无误后,立即用电焊焊牢并最后固定,应对角施焊,以防焊缝收缩导致屋架倾斜。

### (4) 屋面板的安装

屋面板四角一般预埋有吊环,用带钩的吊索钩住吊环即可安装。 $1.5\text{m} \times 6\text{m}$  的屋面板有四个吊环,起吊时,应使四根吊索长度相等,屋面板保持水平。

屋面板的安装次序,应自两边檐口左右对称地逐块铺向屋脊,避免屋架承受半边荷载。屋面板对位后,立即进行电焊固定,每块屋面板可焊三点,最后一块只能焊两点。

### 本章小结

(1) 构成建筑的三大基本要素是:建筑的使用功能、建筑的物资技术条件和建筑的艺术形象。

(2) 建筑物按照它们的使用功能通常可分为生产性建筑(工业建筑、农业建筑)和非生产性建筑(民用建筑)。

(3)影响建筑构造的主要因素:自然环境的影响,外力的影响,人为因素的影响,技术经济条件的影响。

(4)民用建筑一般由基础、墙(柱)、地坪层、楼板层、楼梯、屋顶和门窗等几大部分所组成。

(5)建筑设计内容包括建筑设计、结构设计和设备设计等内容。

(6)建筑工程设计一般分为初步设计和施工图设计两个阶段。大型和重要的民用建筑工程,在初步设计前,应进行设计方案优选。小型和简单的建筑工程,可由方案设计代替初步设计。技术复杂的建设项目,根据主管部门的要求,可以按初步设计、技术设计和施工图设计三个阶段进行。

(7)土方工程常用的施工辅助工作有支护和降低地下水位。

(8)建筑结构地基处理常用的方法主要有换土法、挤密桩复合地基、重锤夯实法、强夯法等。

(9)钢筋混凝土工程包括模板工程、钢筋工程、混凝土工程和预应力混凝土工程。

(10)钢筋的连接方式可分为三类:绑扎连接、机械连接和焊接连接。

(11)混凝土工程包括搅拌、运输、浇筑与振捣、养护等工序。

(12)砌砖施工通常包括抄平、放线、摆砖样、立皮数杆、砌筑、清理和勾缝等工序。

(13)结构安装用的起重机械主要有:桅杆式起重机、自行式起重机、塔式起重机以及索具设备。

### 独立思考

- 4-1 建筑的含义是什么?建筑物和构筑物有什么区别?
- 4-2 建筑的构成要素有哪些?它们之间的关系是怎样的?
- 4-3 建筑按使用性质分为哪几类?其中民用建筑分为哪两大类?
- 4-4 简述民用建筑的组成及各组成部分的作用。
- 4-5 影响建筑构造的主要因素有哪些?构造设计中,应遵守怎样的基本原则?
- 4-6 什么是基础埋置深度?常见的基础类型有哪些?
- 4-7 简述现浇钢筋混凝土楼梯类型及其构造。
- 4-8 简述柔性防水屋面的基本构造层次及做法。
- 4-9 基坑(槽)施工的工艺流程是怎样的?
- 4-10 锤击沉管灌注桩施工要点有哪些?
- 4-11 钢筋的连接方式可分为哪三类?钢筋常用的焊接方法有哪些?
- 4-12 施工缝的留设与处理应注意哪些问题?
- 4-13 简述扣件式钢管脚手架的架设要点。
- 4-14 砖砌体常用的砌筑方法有哪些?各自具有怎样的特点?

### 参考文献

- [1] 颜宏亮. 建筑构造. 上海:同济大学出版社,2010.
- [2] 沈福煦. 建筑概论. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [3] 叶志明. 土木工程概论. 北京:高等教育出版社,2010.
- [4] 郭继武. 建筑结构. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [5] 潘谷西. 中国建筑史. 北京:中国建筑工业出版社,2009.



## 5 桥梁工程

### 【内容提要】

本章主要内容为桥梁的概念、发展、组成与分类、总体规划及设计要点,桥梁工程的发展特点。本章的教学重点是桥梁的组成与分类;教学难点是桥梁的设计要点。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应了解桥梁的概念、发展、总体规划及设计要点;熟悉桥梁的组成与分类,桥梁工程的发展特点。

### 5.1 概 述

#### 5.1.1 桥梁的概念

在公路、铁路、城市和农村道路以及水利建设中,为跨越各种障碍(如江河、沟谷或其他路线等)而修建的构造物,称为桥梁。

桥梁既是交通线上重要的工程实体,又是一种空间艺术。桥梁是交通线路的重要组成部分,而且往往是保证全线早日通车的关键。在经济上,桥梁的造价一般说来平均占公路总造价的10%~20%。在国防上,桥梁是交通运输的咽喉。此外,为了保证已有公路的正常运营,桥梁的养护与维修工作也十分重要。世界各国的大城市,常以工程雄伟的大桥作为城市的标志与骄傲,比如旧金山金门大桥、悉尼海港大桥、香港青马大桥、重庆朝天门大桥。因此,桥梁建筑已不单纯作为交通线上重要的工程实体,而是常作为一种空间艺术结构物存在于社会之中。

随着科学技术的进步和经济、社会、文化水平的提高,人们对桥梁建筑提出了更高的要求。经过几十年的努力,我国的桥梁工程无论在建设规模上,还是在科技水平上,均已跻身世界先进行列。各种功能齐全、造型美观的立交桥、高架桥,横跨长江、黄河等大江大河的特大跨度桥梁,以及几十千米长的跨海湾、海峡特大桥梁的宏伟建设工程与日俱增。桥梁工程技术人员将不断面临着建设新颖和复杂桥梁结构的挑战,肩负着光荣而艰巨的任务。

#### 5.1.2 桥梁的发展

在19世纪20年代铁路出现以前,造桥所用的材料是以石材和木材为主,铸铁和锻铁只是偶尔使用。第二次世界大战后,大量被破坏的桥梁亟待修复,新桥急需修建,而造桥的钢材短缺。于是,人们利用20世纪30年代以来所积累的关于高强度材料和高效工艺(焊接、预应力张拉及锚固、高强度螺栓施工工艺)的经验,推广了预应力混凝土桥、斜拉桥等几种新式桥。新中国成立以前,我国桥梁工程发展缓慢,以我国第一大河流长江为例,其上没有一座永久性大桥。过江的人流、物流只能通过轮渡,交通十分不便。新中国成立以后,于1954年开始在长江上建造第一座大桥——武汉长江大桥,结束了长江无桥的历史。改革开放后,我国掀起了基础设施建设前所未有的高潮,国内公路、铁路路网建设不断地扩大,大桥就如雨后春笋般纷纷修建起来。当前桥梁建设已进入了一个飞速发展的黄金时期。

### 5.1.2.1 我国桥梁建设成就

#### (1) 浮桥

浮桥又称舟桥、浮航、浮桁,从力学上看,是支撑在弹性支座上的梁桥。它是跨越较大宽度河流的比较简单的方式,早在 3000 多年前的《诗经·大雅》中就有周文王为娶妻“亲迎于渭,造舟为梁”的记载。它比古希腊历史学家希罗多德所记载的波斯王大流士入侵希腊时,在波斯普鲁斯海峡上所建造的西方最早的浮桥还早 500 多年。西周时浮桥是稀贵之物,《周礼》规定,只有天子才能使用,用毕就要立即撤除。春秋时期“礼崩乐坏”,《周礼》无人遵守。公元前 541 年,秦国贵族后子针在黄河上建造第一座浮桥。他因自己所储财物过多,恐被秦景公所忌,在黄河上架起浮桥,带了“车重千乘”的财富由今陕西逃往晋国。公元 35 年东汉光武帝时,在今宜昌和宜都之间,出现了架设在长江上的第一座浮桥。木石桥梁出现以后,浮桥主要建于河面过宽、河水过深或涨落起伏大、架设木石柱梁桥困难的地方。架浮桥时两岸多设柱桩或铁牛、铁山、石囤、石狮等以系缆。隋大业元年在洛阳洛水丘建成的天津桥,是第一次用铁链连接船只的浮桥。

浮桥的优点是施工速度快,造价低,开合随意,拆除和架设都很方便。因其架设便易,常用于军事目的,故也称“战桥”。浮桥的缺点是载重量小,随波上下动荡不定,且抵御洪水能力弱,洪峰到来需及时拆撤,因此需专人管理。由于舟船、桥板与系船的缆绳维护费用昂贵,因此,浮桥慢慢地向木梁桥、石梁桥或石拱桥发展。

#### (2) 梁桥

最早的梁桥是简支梁式的,由于跨中弯矩大,梁的跨度与其他桥型比较相对要小。

福建泉州洛阳桥,旧名万安渡,又称万安桥,是世界上工程最艰巨的石梁桥,全长 1106m,共 47 孔,桥宽 3.7m。其造桥工程规模巨大,工艺技术高超,名震四海。该桥位于泉州市东北 10km 的洛阳江上,宋皇祐五年(1053 年)由泉州郡守蔡襄主持,历时 7 年、耗银一千四百万两修建完成。由于该桥址濒临入海口,潮水涨落造成的水头冲击力很大,桥基不易稳固,造桥者巧妙地采用了植蛎固基的做法:先在江底沿桥中线抛石块,建造筏形基础,之后植入牡蛎,牡蛎无孔不入地繁殖分泌出有机胶体把分散的石块胶固成整体,然后在稳固的筏形基础上再用大石块砌出 46 座船形桥墩,上面放巨大石梁,然后铺石板,如图 5-1 所示。造桥时利用海上潮汐浮运石料,并用船上起吊工具悬吊石料,桥墩石料有重达 10t 的,实为用水上浮吊进行墩台施工的最早工程实例。万安桥在施工上创造了“筏形基础”和“激浪以涨舟,悬机以弦丝牵”的奠基法和桥板浮运法。桥梁专家茅以升在《桥梁谈往》中称誉洛阳桥说:“这种基础,就是近代桥梁的‘筏形基础’,但在国外只有不到一百年的历史,所用桥梁的‘浮运法’,就是今日还很通行……福建自洛阳桥兴建成功,泉漳两地相继修成‘十大名桥’,为桥梁技术开辟了新纪元,致有‘闽中桥梁甲天下’之誉。”

晋江安平桥,俗称五里桥,全长 2255m,宽 3~3.8m,桥墩 361 座,尚存 331 座,状如长虹,为中古时代世界上最长的梁式石桥,故有“天下无桥长此桥”的美誉。它位于福建晋江的安海镇,始建于绍兴八年(1138 年),历时 12 年。桥址原为海湾,河面宽广。桥下采用筏形基础,桥墩用条石按照纵、横分层排列砌筑,呈四方形、单边船形、双边船形 3 种形式,砌筑成船形可减小水流冲击。桥面每节平铺长石板 6~8 条,每条石板长约 6m,宽与厚为 0.5~0.7m,重达数吨,连成一体,如长龙卧波,气势磅礴,如图 5-2 所示。后世由于飓风、海潮、地震等袭击,曾有 6 次修理,桥长也因自然淤积而缩短成为目前的 2070m。

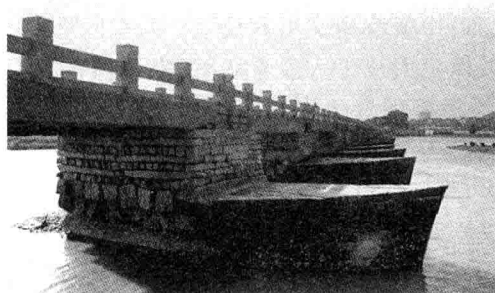


图 5-1 福建泉州洛阳桥(万安桥)



图 5-2 晋江安平桥

对于混凝土梁桥,中、小跨径时,一般均采用简支梁,跨径 30m 以下宜采用标准跨径。高等级公路桥上的多跨简支梁,随着车速和行车舒适性要求的提高,简支梁多采用桥面或连续结构,以减少伸缩缝的数量。

我国跨径最大的简支梁桥,是 1997 年建成的昆明南过境干道高架桥,跨径 63m。

重庆石板坡长江大桥是世界上跨径最大的预应力混凝土梁桥,于 2006 年建成通车,其主跨为 330m,如图 5-3 所示。采用连续刚构体系,有利于车辆的平稳行驶,桥跨完全满足长江通航及宣泄洪水的要求,结构安全可靠,造型美观,与周围环境协调一致,是重庆的一大特色景点。

连续刚构的特点是梁保持连续,墩梁固结。这样既保持了连续梁无伸缩缝、行车平顺的优点,又保持了 T 形刚构不设支座的优点,同时避免了连续梁和 T 形刚构的缺点,因而连续刚构桥在我国发展很快。

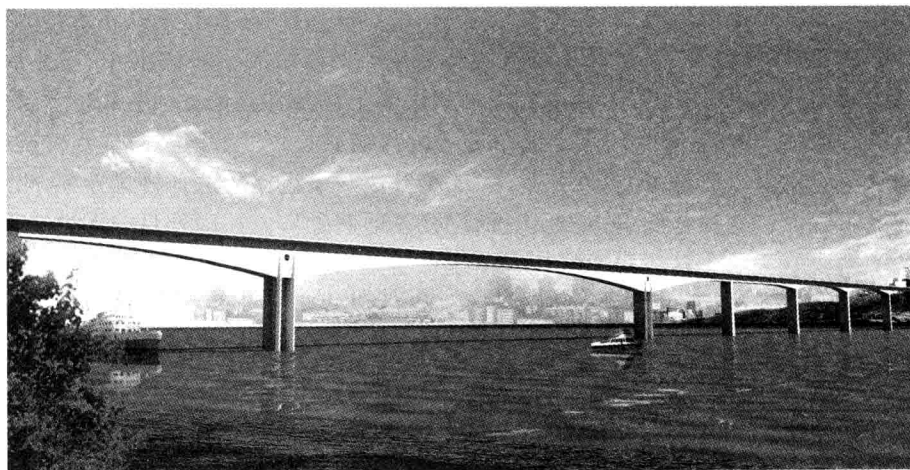


图 5-3 重庆石板坡长江大桥

### (3) 拱桥

汉代以后相当长一个时期是拱桥灿烂发展的时期,我国的石拱桥构思和工艺的精巧举世闻名。赵州桥就是其中的代表。

赵州桥又名安济桥,建于隋大业(605—618 年)年间,由著名匠师李春主持建造,如图 5-4 所

示。桥长 64.4m, 跨径 37.02m, 高度 7.23m, 是当今世界上跨径最大、建造最早的单跨空腹式石拱桥。在主拱圈的上边两端上加设的两个小拱, 一方面可节省石料 200 余立方米, 另一方面可减少桥身自重 15%, 而且能增加洪水泄流量。它比欧洲最早的空腹式拱桥早出现了 1100 多年。其桥洞不是普通半圆形, 而像一张弓, 桥面平坦宽阔, 称为“坦拱”, 兼顾了水陆交通, 方便了车马运行。这一石拱是由 28 道拱圈纵向并列砌成, 每道拱圈可独立站稳, 自成一体, 既便于施工, 又便于单独修补。这样大跨度的坦拱, 对桥台水平推力很大, 建造难度高。赵州桥自重为 2800t, 而桥台却是既浅又小的普通矩形, 厚度仅 1.549m, 由 5 层排石垒成, 其地基是承载力较小的亚黏土。在这样的地基上, 用这样小的桥台, 建这样大跨度的石拱桥, 在世界上是罕见的。

赵州桥自建成距今经历了 10 次水灾, 8 次战乱和多次地震, 依然完好。1963 年洪灾, 水淹到桥拱的拱顶处, 站在桥上能感觉桥身的晃动。特别是 1966 年邢台发生的 6.8 级地震, 震中距桥址仅有数十千米。1991 年 9 月, 赵州桥被美国土木工程师学会选定为第十二个“国际土木工程里程碑”。

世界上最大跨径的石拱桥是位于山西晋城的新丹河大桥, 它于 1999 年建成。该桥跨径 146m, 拱圈高在拱顶处 2.5m, 拱脚处 3.5m, 桥面宽 24.2m, 拱圈用 80 号大料石砌成。如图 5-5 所示。



图 5-4 河北赵县赵州桥

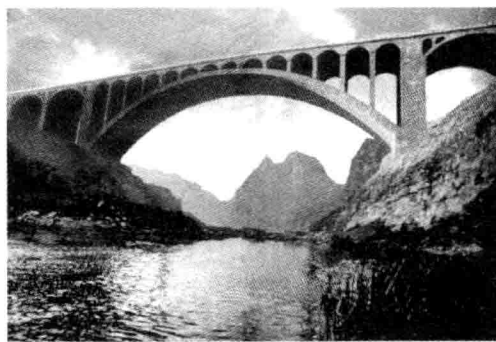


图 5-5 山西晋城新丹河大桥

20 世纪 90 年代兴起的钢管混凝土拱桥, 使得大跨径拱桥的建造能力得到了进一步的提高。先合龙自重轻、强度高的钢管拱圈, 并将其用作施工拱架, 再往管内压注高标号混凝土, 使之进一步硬化形成主拱圈。重庆万县长江大桥, 是钢管混凝土拱桥跨径的世界之最, 其主跨长达 420m, 1997 年建成通车, 如图 5-6 所示。

2009 年建成通车的重庆朝天门大桥, 是世界上跨径最大的钢拱桥, 也是世界上最大跨径的拱桥, 其主跨跨径达 552m, 如图 5-7 所示。2003 年建成的上海卢浦大桥, 主跨 550m, 是目前世界上第二大跨径的钢拱桥。



图 5-6 重庆万县长江大桥



图 5-7 重庆朝天门大桥

#### (4) 索桥

四川都江堰安澜索桥,如图 5-8 所示,是中国古代一座著名的竹索桥,位于都江堰口,横跨岷江内外二江。战国末期,李冰建堰时始建安澜索桥,索桥以木排石墩承托,用粗如碗口的竹缆横飞江面,上铺木板为桥面,两旁以竹索为栏,全长约 500m。1964 年,因山洪暴发古桥被毁,重建后改木桥桩为混凝土桥桩,护栏仍以竹藤包缠。1974 年,修建外江闸门时,把安澜索桥从鱼嘴处向下迁移 130m,将竹索改为钢索。

四川泸定县泸定桥,是我国著名的铁索桥,如图 5-9 所示,坐落在泸定县城大渡河上。自清朝以来,此桥就是四川入藏的重要通道和军事要津。泸定桥桥台为固定地龙桩和卧龙桩的基础,桥亭属清式古建筑。该桥始建于清康熙年间,建成于康熙四十五年(1706 年)。康熙御笔题写“泸定桥”,并立御碑于桥头。桥长 103m,宽 3m,13 根铁链固定在两岸桥台落井里,9 根作底链,4 根分两侧作扶手,共有 12164 个铁环相扣,全桥铁件重 40 余吨。堡基面以下是落井,埋有生铁铸造的地龙桩和卧龙桩,并以铁链锚固,地龙柱重有 36kg。两岸桥头堡为木结构古建筑,其风貌独特为我国所独有。1935 年 5 月 29 日,中国工农红军长征途经此地飞夺泸定桥而使这座桥闻名中外。



图 5-8 都江堰安澜桥

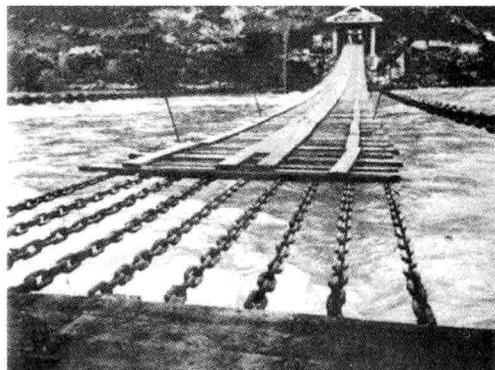


图 5-9 泸定桥

我国现代悬索桥起步较晚,特别是在特大跨度悬索桥方面。自 20 世纪 90 年代中期以后,悬索桥发展迅速。1995 年建成的广东汕头海湾大桥,开创了我国现代公路悬索桥的先河。紧接着又建成西陵长江大桥(主跨 900m,1996 年)、虎门大桥(主跨 888m,1997 年)、香港青马大桥(主跨 1377m,1997 年)、江阴长江大桥(主跨 1385m,1999 年)、江苏润扬长江大桥(主跨 1490m,2005 年)。2009 年建成的浙江舟山连岛工程西堠门大桥,主跨达 1650m,位居目前悬索桥世界第二、国内第一,其中钢箱梁全长位居世界第一,如图 5-10 所示。

#### (5) 斜拉桥

自 1955 年瑞典建成第一座现代化斜拉桥以来,因其造型美观、结构合理、跨越能力大,斜拉桥得到了迅速的发展。我国的斜拉桥起步稍晚,1975 年建成的跨径 76m 的四川云阳桥是国内第一座斜拉桥。20 世纪 90 年代以后,因跨越大江大河的需要,斜拉桥得到了快速的发展。

1991 年建成的上海南浦大桥,跨径 423m。1993 年建成的上海杨浦大桥,跨径 602m;2001 年建成的福建青州闽江桥,跨径 605m,两者均为钢-混凝土结合梁斜拉桥。1993 年建成的郟阳汉江大桥,跨径 414m。1995 年建成的安徽铜陵长江大桥,跨径 432m。1996 年建成的重庆长江二桥,跨径 444m。2001 年建成的重庆大佛寺长江大桥,跨径 450m,为混凝土主梁斜拉桥。2001 年分别建成的跨径 628m 的南京长江二桥,跨径 460m 的武汉军山长江大桥,为钢主梁斜拉桥。2008 年建成





图 5-10 西堠门大桥

的江苏苏通长江公路大桥,其主跨跨径达到 1088m,是位居世界第二大跨径的斜拉桥,如图 5-11 所示。2009 年竣工的香港昂船洲大桥,主跨 1018m,如图 5-12 所示。

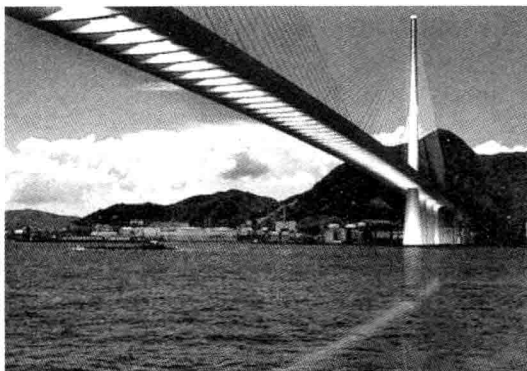


图 5-11 江苏苏通长江大桥

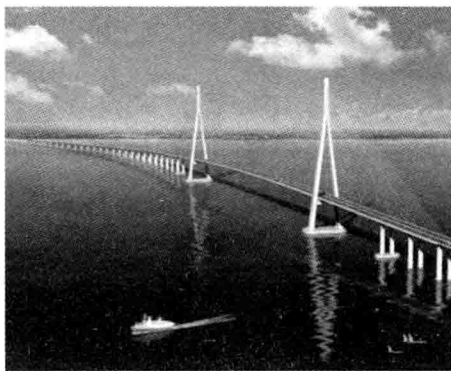


图 5-12 香港昂船洲大桥

#### 5.1.2.2 国外桥梁建设成就

1856 年,英国人贝塞麦发明的酸性底吹转炉炼钢法,奠定了近代炼钢工艺方法的基础。19 世纪中叶就出现了现代意义上的钢材,随后又出现高强度钢材,使桥梁工程的发展获得了第一次飞跃,跨度不断加大。20 世纪初,钢筋混凝土的应用,以及 20 世纪 30 年代兴起的预应力混凝土技术,使桥梁建设获得了廉价、耐久且刚度和承载力均很大的建筑材料,从而推动桥梁的发展产生第二次飞跃。20 世纪 50 年代以后,随着计算机和有限元技术的迅速发展,使得人们能够方便地完成过去不可能完成的大规模结构计算,这使桥梁工程的发展获得了第三次飞跃。

1883 年建成的纽约布鲁克林悬索桥,如图 5-13 所示。其主跨跨径达 483m,开创了现代悬索桥的先河。

1937 年建成的旧金山金门大桥,如图 5-14 所示。其主跨达 1280m,保持了 27 年的世界纪录,至今金门大桥仍是举世闻名的桥梁经典之作,也是著名的旅游胜地。

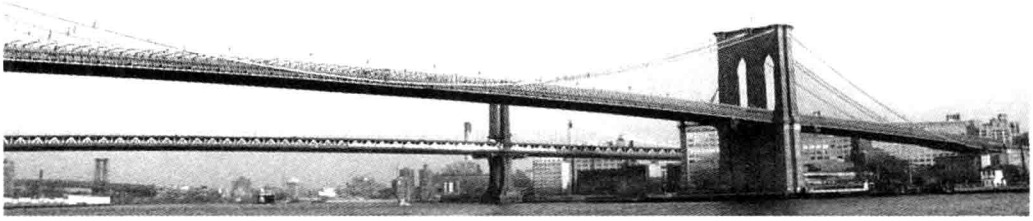


图 5-13 纽约布鲁克林大桥



图 5-14 旧金山金门大桥

目前世界上跨度最大的悬索桥是日本的明石海峡公铁两用桥,如图 5-15 所示。该大桥于 1988 年动工,1998 年竣工,跨径 1991m。原设计跨径为 1990m,1995 年在大桥建设期间,该桥经受了 7.2 级阪神大地震的考验,只是南岸的岸墩和锚锭装置发生了轻微位移,使桥的长度增加 0.8m,变成了目前的跨径。

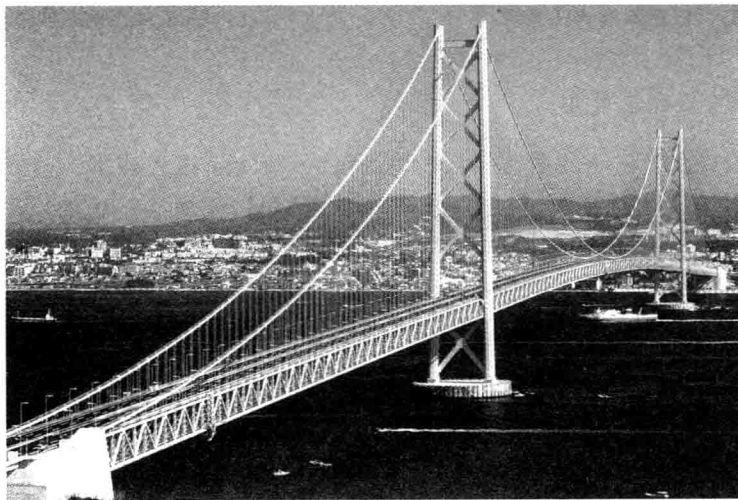


图 5-15 日本明石海峡大桥



世界上第一座现代化斜拉桥是 1955 年瑞典建成的斯特罗姆海峡桥,其主跨 182.6m,从此,该桥型发展十分迅速。截至目前,跨径最大的斜拉桥要数俄罗斯海参崴的俄罗斯岛跨海大桥,如图 5-16 所示。它建成于 2012 年,其主跨 1104m,比我国苏通大桥主跨长 16m。

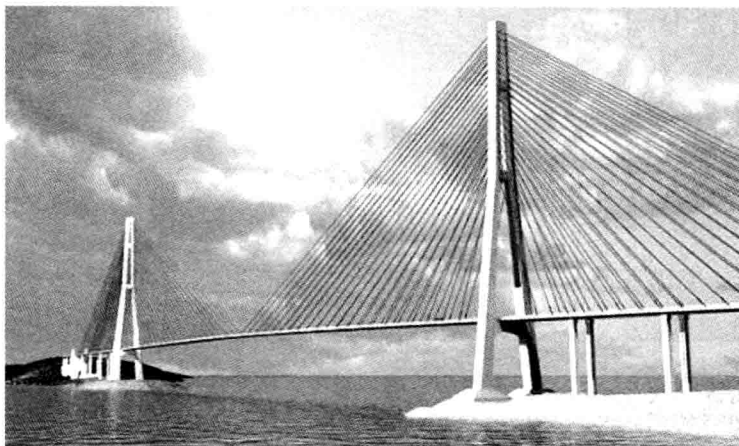


图 5-16 俄罗斯岛跨海大桥

圬工拱桥在国外已有 100 多年的历史,1964 年在瑞典建成的绥依纳松特桥,跨径达 155m。由于石料开采和加工砌筑费工巨大,国外已很少修建大跨度石拱桥。

钢筋混凝土拱桥从 20 世纪初到 50 年代间,得到了很大的发展,后因支架问题,应用受到一定的限制。1979 年南斯拉夫建成跨度达 390m 的 KRK 大桥,如图 5-17 所示,又名克尔克大桥、铁托桥。该桥跨径保持了 19 年的世界纪录,直到 1997 年重庆万县长江大桥的建成,才刷新了钢筋混凝土拱桥的世界纪录。

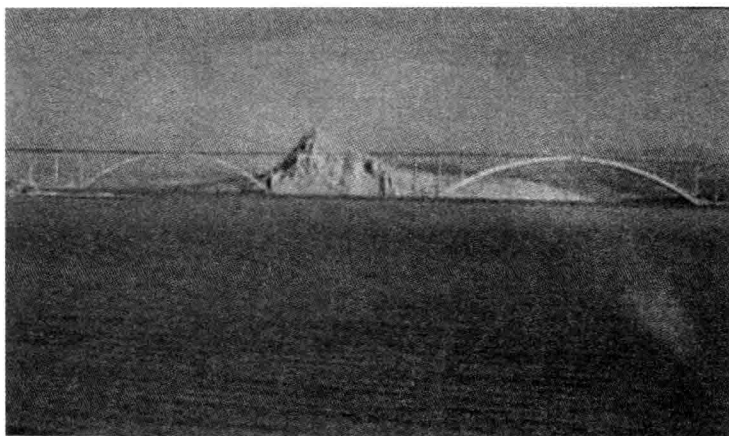


图 5-17 南斯拉夫 KRK 大桥

美国弗吉尼亚州的新河峡桥,如图 5-18 所示,1977 年建成,主跨 518m,桥面高出峡谷 267m,建成当时是世界第一跨径和第一高度的钢拱桥。该桥跨径保持了 27 年的世界纪录,直到 2003 年上海卢浦大桥(主跨 550m)的建成,才刷新了钢拱桥的世界纪录。该桥目前是世界上第三大跨径的钢拱桥。2004 年建成的法国米约高架桥(大桥距地面 270m),打破了新河峡桥是世界上最高桥梁的纪录。

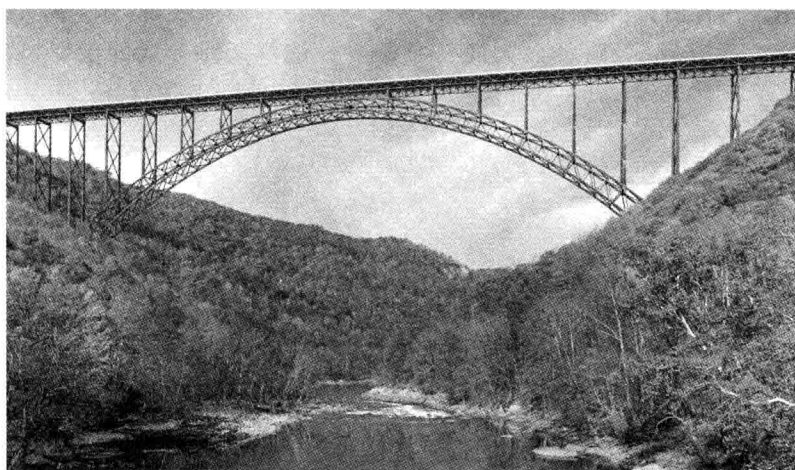


图 5-18 美国新河峡桥

## 5.2 桥梁的组成与分类

### 5.2.1 桥梁的组成

桥梁一般由四个基本部分组成,即上部结构、下部结构、支座以及附属设施。图 5-19 是一座公路桥梁的立面图。

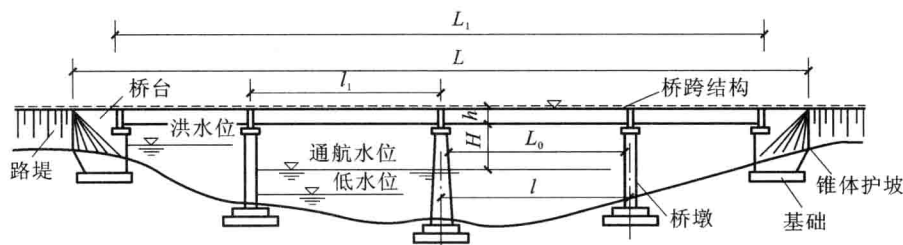


图 5-19 桥梁的基本组成

#### (1) 上部结构

上部结构又称桥跨结构或桥孔结构,是线路遇到障碍(如江河、山谷或其他线路等)中断时,跨越障碍的结构物。上部结构直接承受各种荷载,是桥梁支座以上跨越桥孔的总称。

#### (2) 下部结构

下部结构包括桥墩、桥台及基础。桥墩一般位于河谷中间或岸上,其作用是支撑上部结构并将荷载传递给基础;桥台一般位于桥梁的两端,一端与路堤相接,另一端与上部结构相连并支撑上部结构。墩台基础是保证桥梁墩台安全并将荷载传至地基的结构,其作用是将上部结构和下部结构传递下来的全部荷载传给地基。

#### (3) 支座

支座设置在桥墩和桥台顶部,其作用是支撑上部结构并将上部结构的荷载传递给墩台,同时应保证上部结构在荷载、温度变化或其他因素作用下产生相应位移时的安全。

#### (4) 附属设施

附属设施包括桥面铺装、排水防水系统、伸缩缝、栏杆等。附属设施对保证桥梁功能的正常发挥有重要作用。

随着大型桥梁的增多,结构先进性和复杂性的增强,对桥梁使用品质的要求越来越高,现在通常认为桥梁由“五大部件”与“五小部件”组成。“五大部件”是指桥梁承受汽车或其他运输车辆荷载的桥跨上部结构与下部结构,它们必须通过承受荷载的计算与分析,是桥梁结构安全性的保证。“五大部件”由桥跨结构、支座系统、桥墩、桥台、墩台基础构成。“五小部件”是指与桥梁服务功能有关的部件,过去总称为桥面构造,具体包括桥面铺装(或称行车道铺装)、排水防水系统、栏杆(或防撞栏杆)、伸缩缝、灯光照明。

### 5.2.2 桥梁的分类

桥梁的分类方法很多,常用的主要有以下几种:

①按跨径大小分为:特大桥、大桥、中桥、小桥。桥梁的跨径反映了桥梁的建设规模。我国《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)规定特大桥、大桥、中桥、小桥的跨径划分依据如表 5-1 所示。

表 5-1 桥梁按总长和跨径分类

桥梁分类	多孔跨径总长 $L/m$	单孔跨径 $l/m$
特大桥	$L > 1000$	$l > 150$
大桥	$100 \leq L \leq 1000$	$40 \leq l \leq 150$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq l < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq l < 20$
涵洞	—	$l < 5$

上述分类在一定程度上反映了桥梁的建设规模,但不反映桥梁的复杂性。国际上一般认为单孔跨径小于 150m 的属于中小桥,大于 150m 即为大桥,而特大桥的起点跨径与桥型有关,悬索桥为 1000m,斜拉桥和钢拱桥为 500m,其他桥型为 300m。

②按建筑材料分为:木桥、圬工桥(包括砖、石、混凝土桥)、钢桥、钢筋混凝土桥、钢管混凝土桥和预应力混凝土桥等。

③按桥梁的主要用途分为:公路桥、铁路桥、公路铁路两用桥、农桥、人行桥、军用桥、运水桥(渡槽)、管线桥及其他专用桥梁。

④按跨越方式分为:固定式桥梁、开启桥、浮桥、漫水桥等。

⑤按施工方法分为:整体施工桥梁(上部结构一次浇筑而成)、节段施工桥梁(上部结构分节段组拼而成)、预制安装桥梁等。

⑥按结构体系分为:梁式桥、拱桥、缆索承重体系以及组合体系桥梁等。

桥梁按结构体系可划分为梁、拱、索三大基本体系,其中梁式桥以受弯为主,拱式桥以受压为主,悬索桥以受拉为主,由上述三大基本体系中的一种或两种与梁、塔、斜索等构件相互组合可以派生成多种组合体系,如斜拉桥和刚架桥等。

#### 5.2.2.1 梁式桥

梁式桥是在竖向移动式荷载作用下无水平反力的桥梁结构体系。梁式桥是以承受弯矩和剪力为主的桥梁。由于跨中弯矩大,梁的跨度与其他桥型比较相对要小。梁式桥按照主梁的静力体系分为简支梁桥、连续梁桥和悬臂梁桥。

①简支梁桥。简支桥梁一般适用于中小跨度的桥梁,其结构简单,制造、运输和架设均比较方便,如图 5-20 所示。由于其各跨独立受力,多设计成不同标准跨径的装配式结构,以便于构件生产工艺工业化、施工机械化,提高工程质量,降低工程造价。目前在公路上应用最广的中、小跨径桥梁,是标准跨径的钢筋混凝土简支梁桥,施工方法有预制装配和现浇两种,其结构简单,施工方便,对地基承载力的要求也不高,常用跨径在 25m 以下。若跨径增大,则需用预应力混凝土简支梁桥,但跨径一般不超过 50m。

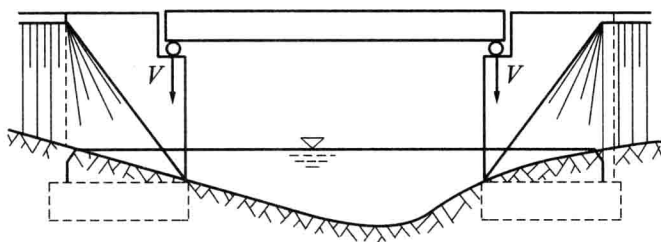


图 5-20 简支梁桥

②连续梁桥。连续梁桥是多跨简支梁桥在中间支座处梁体连接贯通,形成整体的、连续的、多跨的桥梁结构。连续梁按其截面变化可分为等截面连续梁和变截面连续梁;按其各跨的跨长可分为等跨连续梁和不等跨连续梁,不等跨连续梁桥一般采用变截面形式,如图 5-21 所示。

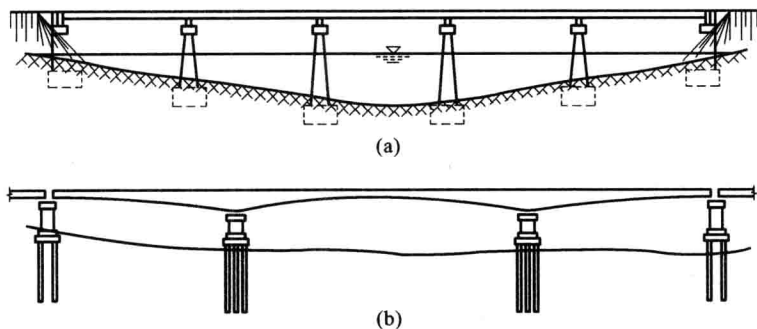


图 5-21 连续梁桥

(a) 等跨等截面连续梁桥; (b) 不等跨变截面连续梁桥

③悬臂梁桥。悬臂梁桥是简支梁桥的梁体向一端或两端伸过其支点所形成的梁式桥,如图 5-22 所示。

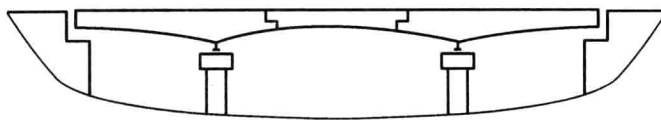


图 5-22 悬臂梁桥

#### 5.2.2.2 拱桥

拱桥主要由桥跨结构、下部结构及附属设施组成,如图 5-23 所示。拱桥的桥跨结构由主拱圈、传力结构和桥面系组成。拱桥是桥梁工程中使用广泛且历史悠久的一种桥梁结构类型。拱桥与梁桥的受力性能有着本质区别,拱桥的主要承重结构是拱圈,在竖向荷载作用下,桥墩和桥台将承受水平推力。拱桥的承重结构以受压为主。拱桥可以利用钢筋混凝土材料来修建,也可以利用抗压

性能较好而抗拉性能较差的圬工材料来修建。拱桥造型优美,跨越能力强,跨径在 500m 以内均可作为桥梁设计的比选方案。

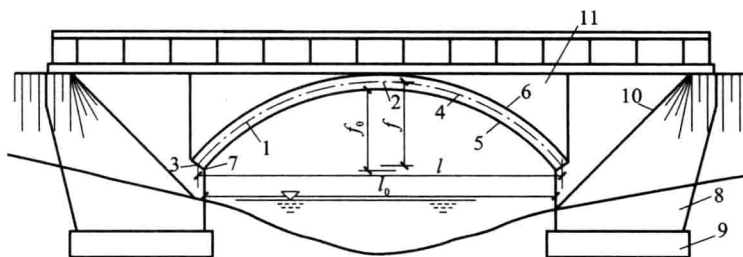


图 5-23 拱桥概貌

1—主拱圈；2—拱顶；3—拱脚；4—拱轴线；5—拱腹；6—拱背；7—起拱线；

8—桥台；9—桥台基础；10—锥坡；11—拱上建筑；

$l$ —净跨径； $f_0$ —净矢高； $f$ —计算矢高； $f/l$ (或  $f_0/l_0$ )—矢跨比

拱桥按桥面系和主拱圈的相对位置分为上承式拱桥[图 5-24(a)]、中承式拱桥[图 5-24(b)]、下承式拱桥[图 5-24(c)]。桥面系位于主拱圈之上,称为上承式拱桥;桥面系位于主拱圈中部,称为中承式拱桥;桥面系位于主拱圈之下,称为下承式拱桥。

为了确保拱桥的安全,下部结构和地基(特别是桥台)必须能经受住很大的水平推力作用,常修建厚重墩台。拱桥一般适用于地基比较好的地区修建。此外,与梁式桥不同,因为拱圈(或拱肋)在合龙前自身不能维持平衡,所以拱桥在施工过程中的难度和危险性要远大于梁式桥。

在地基条件不适合修建具有很大推力的拱桥的情况下,可以修建无推力拱桥。通过设置受拉系杆,来承受水平推力。系杆可由钢、预应力混凝土或高强钢筋做成。无推力拱桥的桥墩可以做得比较轻薄。近年来发展了一种所谓“飞雁式”三跨微小推力拱桥,如图 5-24(d)所示,即在边跨的两端施加强大的水平预加力  $H$ ,通过边跨梁传至拱脚,以抵消主跨拱脚处的巨大水平推力。

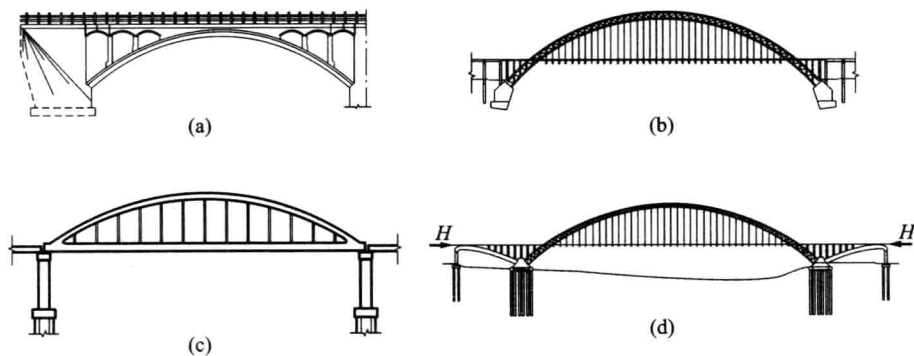


图 5-24 拱桥分类

(a)上承式拱桥;(b)中承式拱桥;(c)下承式拱桥;(d)“飞雁式”三跨无推力拱桥

### 5.2.2.3 刚构桥

刚构桥的主要承重结构是梁(或板)与立柱(或竖墙)整体结合在一起的钢架结构。在竖向荷载作用下,柱脚处具有水平反力,梁部主要受弯,但弯矩值较同跨径的简支梁小,梁内还有轴压力  $H$ ,因而其受力状态介于梁桥与拱桥之间。

刚构桥可分为 T 形刚构、连续刚构两种。T 形刚构是一种墩梁固接、具有悬臂受力特点的梁式桥。T 形刚构在自重作用下的弯矩类似于悬臂梁,适合于悬臂施工,一般为静定结构,如图 5-25(a)所示。连续刚构桥是预应力混凝土大跨梁式桥的主要桥型之一,它综合了连续梁和 T 形刚构桥的受力特点,将主梁做成连续梁体,与薄壁桥墩固接而成,如图 5-25(b)所示。

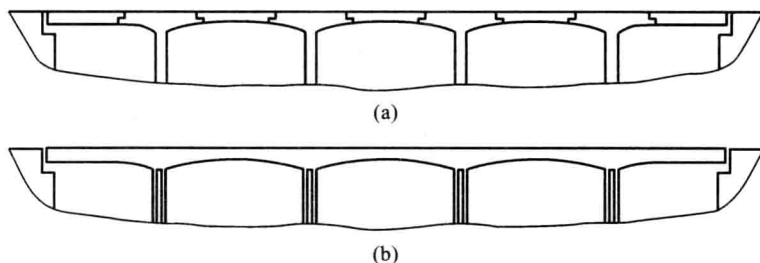


图 5-25 T 形刚构和连续刚构

(a) T 形刚构; (b) 连续刚构

#### 5.2.2.4 悬索桥

悬索桥又称吊桥,是用悬挂在两边塔架上的强大缆索作为主要承重结构,如图 5-26 所示。在桥面竖向荷载作用下,通过吊杆使缆索承受很大的拉力,缆索锚于吊桥两端的锚碇结构中,为了承受巨大的缆索拉力,锚碇结构需做得很大(重力式锚碇),或者依靠天然完整的岩体来承受水平拉力(隧道式锚碇)。在不宜修建锚碇的情况下,可将主缆锚固在主梁两端,即“自锚式”悬索桥。缆索传至锚碇的拉力可分解为垂直和水平两个分力,因而吊桥也是具有水平反力(拉力)的结构。现代吊桥广泛采用高强度的钢丝成股编制形成钢缆,以充分发挥其优良的抗拉性能。吊桥的承载系统包括缆索、塔柱和锚碇三部分,因此结构自重较轻,能够跨越任何其他桥型无与伦比的特大跨度。悬索桥的另一特点是,受力简单明了,成卷的钢缆易于运输,在将缆索架设完成后,便形成了一个强大稳定的结构支承系统,施工过程中的风险相对较小。

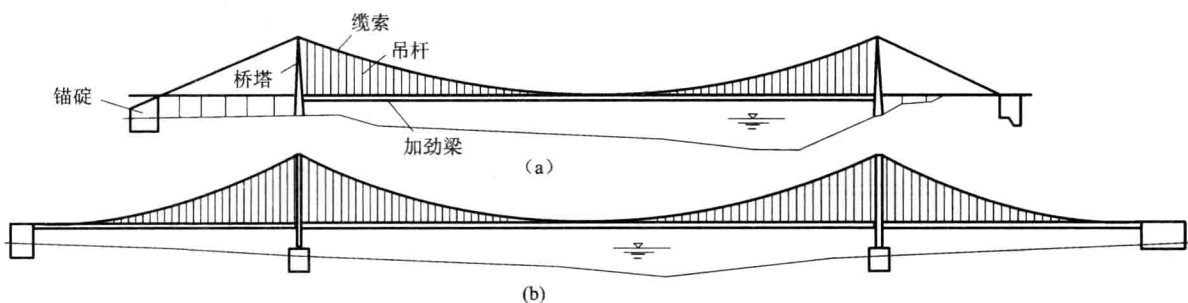


图 5-26 悬索桥(吊桥)

(a) 单跨式悬索桥; (b) 三跨式悬索桥

与上述其他体系桥梁相比,悬索桥的刚度最小,属柔性结构,在车辆荷载作用下,吊桥将产生较大的变形。此外,风荷载对悬索桥会产生较大的变形和振动,需予以特别地重视。

表 5-2 为世界十大悬索桥。

表 5-2

世界十大悬索桥

序号	桥名	主跨径/m	建成年代	国家
1	明石海峡大桥	1991	1998 年	日本
2	西堠门大桥	1650	2009 年	中国
3	大伯尔特桥	1624	1997 年	丹麦
4	润扬长江公路大桥	1490	2005 年	中国
5	亨伯尔桥	1410	1981 年	英国
6	江阴长江公路大桥	1385	1999 年	中国
7	香港青马大桥	1377	1997 年	中国
8	维拉扎诺桥	1298	1964 年	美国
9	金门大桥	1280	1937 年	美国
10	武汉阳逻长江大桥	1280	2007 年	中国

## 5.2.2.5 斜拉桥

斜拉桥由塔柱、主梁和斜拉索组成,如图 5-27 所示。它的基本受力特点是:受拉的斜索将主梁多点吊起,并将主梁的恒载和车辆等其他荷载传至塔柱,再通过塔柱基础传至地基。塔柱基本上以受压为主。跨度较大的主梁就像一条多点弹性支承(吊起)的连续梁一样工作,从而使主梁内的弯矩大大减小。主梁所受弯矩大小与斜拉索的初张力密切相关,并存在着一定的最优索力分布,使主梁在各种状态下的弯矩(或应力)最小。

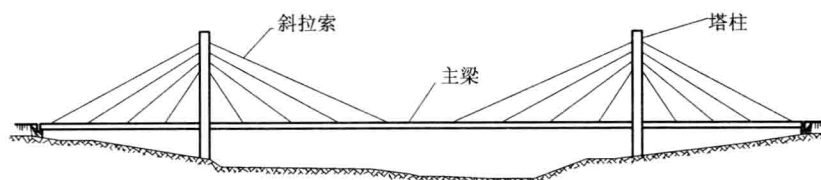


图 5-27 斜拉桥(双塔三跨式)

常用的斜拉桥是双塔三跨式结构,但独塔双跨形式也常见,如图 5-28 所示,具体形式及布置的选择应根据河流、地形、通航、美观等要求加以论证确定。

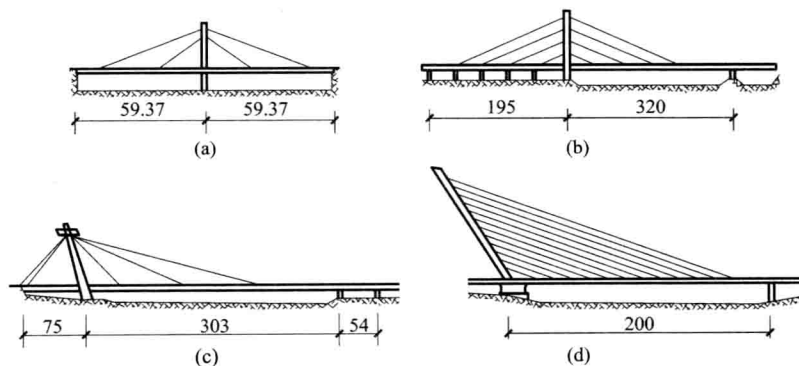


图 5-28 独塔式斜拉桥



斜拉索一般可以布置成双索面形式,也可以采用中央布置的单索面结构[图 5-29(a)]。单索面抗扭能力不好,因此大跨径斜拉桥通常采用双索面形式,双索面又有竖直索面[图 5-29(b)]、倾斜索面[图 5-29(c)]之分。

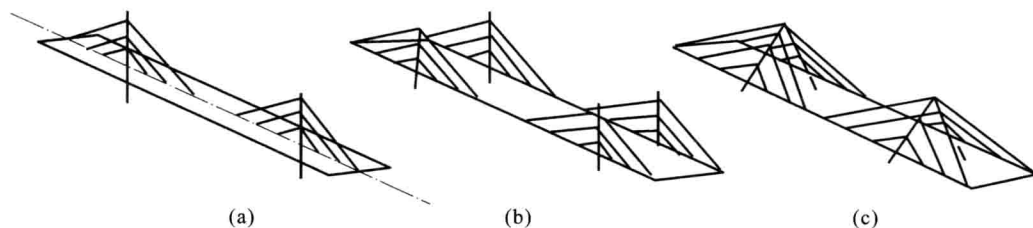


图 5-29 拉索在空间的布置

表 5-3 为世界十大斜拉桥。

表 5-3

世界十大斜拉桥

序号	桥名	主跨径/m	建成年代	国家
1	俄罗斯岛大桥	1104	2012 年	俄罗斯
2	苏通长江大桥	1088	2008 年	中国
3	香港昂船洲大桥	1018	2009 年	中国
4	湖北鄂东长江大桥	960	2010 年	中国
5	多多罗大桥	890	1999 年	日本
6	诺曼底大桥	865	1995 年	法国
7	南京长江三桥	648	2005 年	中国
8	南京长江二桥	628	2005 年	中国
9	白沙洲长江大桥	618	2001 年	中国
10	青州闽江大桥	605	2001 年	中国

## 5.3 桥梁的总体规划及设计要点

### 5.3.1 桥梁的总体规划

桥梁总体规划的基本内容包括选定桥位,确定桥梁总跨径及分孔方案,选定桥型,决定桥梁的纵断面、横断面布置等。

桥梁总体规划的原则是:根据其使用任务、性质和将来发展的需要,全面贯彻安全、经济、适用和美观的方针。一般需考虑下述各项要求:

①使用上的要求。桥上的行车道和人行道应保证车辆和行人安全畅通,满足将来交通发展的需要。桥型、跨度大小和桥下净空还应满足泄洪、安全通航和其他通行要求。

②经济上的要求。桥梁的建造应体现经济合理。桥梁方案的选择要充分考虑因地制宜和当地取材以及施工水平等物质条件,力求在满足功能要求的基础上,使总造价和材料等消耗量最少,工期最短,提早投入使用。

③结构上的要求。整个桥梁结构及其部件,在制造、运输、安装和使用过程中应具有足够的强度、刚度、稳定性和耐久性。

④美观和环保的要求。桥梁应具有优美的外形,应与周围环境协调,同时也要体现绿色环保的理念、使用时对周边环境和生态不造成影响或者破坏。

### 5.3.2 桥梁的设计要点

桥梁设计的要点如下:

#### (1) 选择桥位

桥位在服从路线总方向的前提下,选在河道顺直、河床稳定、水面较窄、水流平稳的河段。中小桥的桥位服从路线要求,而路线的选择服从大桥的桥位要求。

#### (2) 确定桥梁总跨径与分孔数

总跨径的长度要保证桥下有足够的过水断面,可以顺利地泄洪、通过流冰。根据河床的地质条件,确定允许冲刷深度,以便适当压缩总跨径长度,节省费用。分孔数目及跨径大小要考虑桥的通航需要,工程地质条件的优劣,工程总造价的高低等因素。一般跨径越大,总造价越大,施工亦越困难。桥面标高在确定总跨径、分孔数的同时予以确定。设计通航水位及通航净空高度是确定桥面标高的主要因素,一般在满足这些条件的前提下,尽可能地取低值,以节约工程造价。

#### (3) 桥梁的纵横断面布置

桥梁的纵断面布置是在确定桥的总跨度与桥面标高以后,考虑路与桥的连接线形与连接的纵向坡度。连接线形一般应根据两端桥头的地形和线路要求而定。纵向坡度是为了桥面排水,一般控制在 $3\%\sim 5\%$ 。桥梁横断面布置包括桥面宽度、横向坡度、桥跨结构的横断面布界等。桥面宽度含车行道与人行道的宽度及构造尺寸等,按照道路等级,国家有统一规定。

#### (4) 公路桥型的选择

桥型选择是指选择什么类型的桥梁,是梁式桥,还是拱桥;是刚架桥,还是斜拉桥;是多孔桥,还是单跨桥等。一般应从安全实用与经济合理等方面综合考虑,选出最优的桥型方案。在实际操作中,往往需要准备多套可能的桥型方案,综合比较分析以后,才能找出符合要求的最优方案。

## 5.4 桥梁工程的发展特点

桥梁工程发展具有如下特点:

#### (1) 大跨度桥梁向更长、更大、更柔的方向发展

研究大跨度桥梁在空气动力、地震和行车动力作用下,结构的安全和稳定性,将截面做成适应空气动力要求的各种流线型加劲梁,增大特大跨度桥梁的刚度。

大跨度桥梁采用以斜缆为主的空间网状承重体系;采用悬索加斜拉的混合体系;采用轻型而刚度大的复合材料做加劲梁;采用自重轻、强度高的碳纤维材料做主缆。

#### (2) 新材料的开发和应用

新材料应具有高强、高弹模、轻质的特点,研究超高强硅烷和聚合物混凝土、高强双相钢丝钢纤维增强混凝土、纤维塑料等一系列材料取代目前桥梁用的钢和混凝土。

#### (3) 设计阶段的发展

在设计阶段采用高度发展的计算机辅助手段——数值模拟计算技术,进行有效的快速优化和仿真分析。运用智能化制造系统在工厂生产部件,利用 GPS 和遥控技术控制桥梁施工。

#### (4) 大型深水基础工程

目前世界桥梁基础尚未超过 100m 深海基础工程,下一步需进行 100~300m 深海基础的实践。

### (5) 自动监测和管理

桥梁建成交付使用后,将通过自动监测和管理系统保证桥梁的安全和正常运行,一旦发生故障或损伤,将自动报告损伤部位和养护对策。

### (6) 重视桥梁美学及环境保护,注重功能拓展

桥梁是人类最杰出的建筑之一,闻名遐迩的美国旧金山金门大桥、澳大利亚悉尼港桥、英国伦敦桥、日本明石海峡大桥以及我国江苏苏通大桥、江阴长江大桥、润扬大桥、上海杨浦大桥、南京长江二桥、香港青马大桥等,这些著名大桥都是宝贵的空间艺术品,成为陆地、江河、海洋和天空的景观以及城市标志性建筑。宏伟壮观的澳大利亚悉尼港桥与现代化别具一格的悉尼歌剧院融为一体,成为今日悉尼的象征。因此,21 世纪的桥梁结构必将更加重视建筑艺术造型。重视桥梁美学和景观设计,重视环境保护,达到人文景观与环境景观的完美结合。

在 20 世纪桥梁工程大发展的基础上描绘 21 世纪的宏伟蓝图,桥梁建设技术将有更大、更新的发展。

## 本章小结

(1) 桥梁的四个基本组成部分:上部结构、下部结构、支座以及附属设施。

(2) 桥梁五大部件:桥跨结构、支座系统、桥墩、桥台、墩台基础。

(3) 桥梁五小部件:桥面铺装、排水防水系统、栏杆、伸缩缝、灯光照明。

(4) 桥梁按结构体系划分为梁、拱、索三大基本体系,其中梁式桥以受弯为主,拱式桥以受压为主,悬索桥以受拉为主,具体可分为五大类,即梁式桥、拱式桥、刚构桥、悬索桥、斜拉桥。

(5) 桥梁总体规划的基本内容包括:选定桥位,确定桥梁总跨径及分孔方案,选定桥型,确定桥梁的纵断面、横断面布置等。

(6) 桥梁总体规划的原则是:根据其使用任务、性质和将来发展的需要,全面贯彻安全、经济、适用和美观的方针。

## 独立思考

5-1 桥梁按结构体系可以分成几类? 其对应的受力特点是什么?

5-2 桥梁的总体规划是什么?

5-3 桥梁的设计要点是什么?

5-4 桥梁工程的发展特点是什么?

5-5 我国《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)规定特大桥、大桥、中桥、小桥的跨径划分依据是什么?

5-6 斜拉桥和悬索桥都是索结构,它们的基本受力原理有什么不同? 哪一种的跨越能力更强?

## 参考文献

[1] 周新刚. 土木工程概论. 北京:中国建筑工业出版社,2011.

[2] 易成,沈世钊. 土木工程概论. 北京:中国建筑工业出版社,2010.

[3] 叶志明. 土木工程概论. 北京:高等教育出版社,2009.

## 6 道路工程

### 【内容提要】

本章主要内容为公路的分类、公路的几何组成和结构建设,城市道路的特点和类型,高速公路的特点、发展概况、设计及沿线设施。本章的教学重点是公路的建设和高速公路的特点;教学难点是公路的几何组成和结构建设,高速公路设计。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应了解公路的分类、高速公路的发展概况和设计,熟悉公路的几何组成和结构建设、城市道路的特点和类型、高速公路的特点。

现代交通运输体系是由铁路、道路、水运、航空和管道五种运输方式构成的大系统。它们在技术与经济上各具特点。

铁路运输能力大,速度较快,运输成本和能耗都较低,宜用于承担中长距离货运和大宗物资的运输,但是铁路建设投资大,建设周期较长;水路运费低,速度较慢,有明显的经济效益,常承担港口城市货运和大宗物资运输;航空运输速度快,运输成本高,能耗大,宜用于承担大中城市间长距离客运以及边远地区高档和急需物资的运输;管道运输用于原油、成品油和煤炭(加水或添加剂)的运输;在综合运输体系中,道路运输可承担其他运输形式的客货集散与联系,承担铁路、水运、空运固线外的延伸运输任务。道路运输最大的优点是投资少,灵活机动,可以深入到城镇、乡村、山区、港口和机场等各个角落,能独立实现“门到门”的直达运输。道路运输在综合运输体系中占主导地位。根据其使用特点可分为公路、城市道路以及其他道路等。

### 6.1 公 路

#### 6.1.1 公路的分类

公路按其在国家政治、经济、国防和区域行政管理中的重要性和使用性质的不同划分为国家干线公路(简称国道)、省级干线公路(简称省道)、县级公路(简称县道)、乡级公路(简称乡道)和专用公路等。各自的含义如下:国道由国家统一规划,由所在各省市自治区负责建设、管理、养护;省道是在国道网的基础上,由省对具有全省意义的干线、干路加以规划,并且建设、管理、养护;县道中的主要路段由省统一规划、建设和管理,一般路段由县自定并建设、管理和养护;乡(镇)道主要为乡村服务,由县统一规划组织建设、管理和养护;专用道为厂区、林区、矿区、港区的道路,由专用部门自行规划、建设、管理和养护。

另外,根据中华人民共和国原交通部颁发的《公路工程技术标准》(JTG B01—2003),按交通量、使用任务和性质,公路可划分为五个等级:高速公路、一级公路、二级公路、三级公路和四级公路。

高速公路为专供汽车分向、分车道行驶,全部控制出入的干线公路。根据其适应交通量的不同,分为以下3种:

①四车道高速公路应适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量 25000~55000 辆。

②六车道高速公路应适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量 45000~80000 辆。

③八车道高速公路应适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量 60000~100000 辆。

一级公路为专供汽车分向、分车道行驶,并可根据需要控制出入的多车道公路。根据我国国情,存在两种功能,当作为干线公路时,为保证运行速度、交通安全和服务水平,应根据需要采取控制出入措施;而作为集散公路时,纵横向干扰较大,为保证供汽车分道、分向行驶,可设慢车道,供非汽车交通行驶。根据其适应交通量不同可分为以下两种:

①四车道一级公路应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量 15000~30000 辆。

②六车道一级公路应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量 25000~55000 辆。

二级公路应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量 5000~15000 辆。

三级公路应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量 2000~6000 辆。

四级公路为主要供汽车行驶的双车道或单车道公路。对于双车道,四级公路应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量 2000 辆以下;对于单车道,应能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量 400 辆以下。

## 6.1.2 公路的建设

公路是设置在大地上供各种车辆行驶的一种带状结构物,主要由几何(或线形)和结构两部分组成。线形是指在空间的几何形状和尺寸,简称为路线;结构是由路基、路面、桥涵、隧道以及沿线附属结构设施等组成。

### 6.1.2.1 公路的几何组成(线形组成)

公路基于自然条件或地形的限制,在平面上有转折,在纵面上有起伏。在平面线形的转折点和纵断面的变坡点两侧相邻直线处,为了满足车辆行驶顺畅、安全和速度的要求,必须用一定半径的曲线连接,因此路线平面和纵面均由直线和曲线组成。如图 6-1 所示,路线平面、路线纵断面、横断面和空间线形组合是道路线路的三个基本参数。

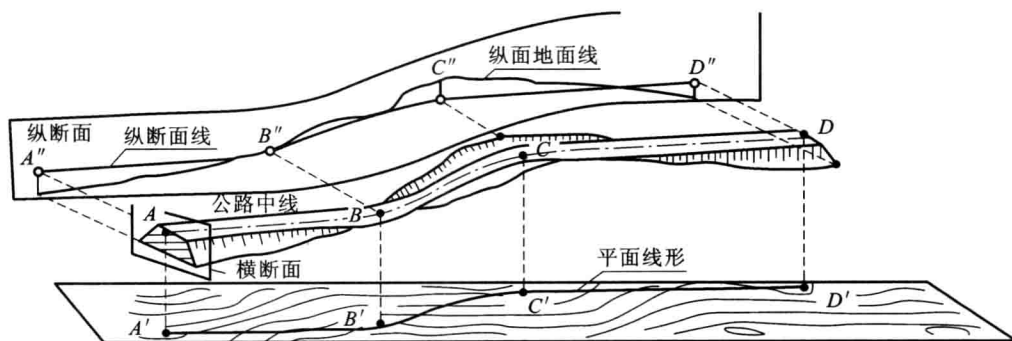


图 6-1 道路的平面、纵断面及横断面

公路中线在水平面上的投影为平面线形。公路平面设计的主要内容是根据规划确定的路线大致走向,在满足车辆行驶的技术要求前提下,结合当地地形、地质水文条件,确定其具体方向;选择合适的平曲线半径,解决转折点处的曲线衔接问题;保证行车视距,使路线既要符合技术要求,又经济合理。

公路中线的竖向剖面为路线纵断面。它反映了路中线地面起伏和设计路线的坡度情况。由于公路经过的地形是起伏不平的,汽车必须循着具有不同纵坡度的道路行驶,其中纵坡度变化的交点,称为变坡点。为了便于行车,缓和纵坡折线而设的曲线称为竖曲线。根据坡度转折的形式不同,分为凸形竖曲线和凹形竖曲线,如图 6-2 所示。

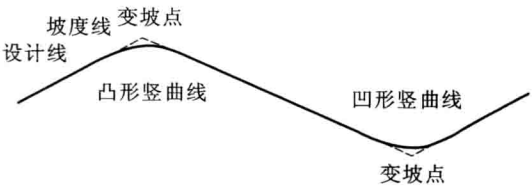


图 6-2 公路纵断面线形示意图

公路中心线的法线方向切面是公路的横断面。横断面主要是由行车部分、路肩、边沟等组成。路线的交叉口设计也是道路设计的重要组成部分,它是提高交叉路口通行能力,减少以致消灭交通事故的一项重要任务。道路交叉分为平面交叉和立体交叉两种,后者又多被用于高速公路上。交叉口的设计一般要进行细致的交通分析。

当车辆在曲线路段上行驶时,受到离心力的作用,为了抵消离心力,一般在曲线段横断面上,设置路段的外侧高于内侧,这种单向横坡被称为超高。当汽车在设有超高的弯道上行驶时,汽车的自重分力就会抵消一部分离心力,从而提高了弯道上行车的安全性和舒适性。司机在各级道路驾驶时,都应看到行车路线上前方一定距离的道路。行车视距是司机看到一定距离处的障碍物或迎面来车时,进行刹车、错车、超车或绕过它们而在路上继续行驶所必需的安全距离。沿道路横向每一个车道都应满足行车视距的要求。根据道路横断面布置和交通运行方式不同,可分为停车视距、会车视距和超车视距,如表 6-1 所示。

表 6-1 各级公路线形设计主要技术指标汇总表

公路等级			高速公路			一级公路			二级公路		三级公路		四级公路
服务水平			二级			二级			三级		三级		按情况定
适应交通量/(辆/昼夜)			25000~100000			15000~55000			5000~15000		2000~6000		400~2000
计算行车速度/(km/h)			120	100	80	100	80	60	80	60	40	30	20
车道宽度/m			3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.50	3.50	3.25	3.00
车道数			8/6/4	8/6/4	6/4	6/5	6/4	4	2	2	2	2	2 或 1
路基 宽度 /m	一般值		45/34.5 /28	44/33.5 /26	32 /24.5	33.5 /26	32 /24.5	23	12	10	8.5	7.5	6.5 或 4.5
	最小值		40/— /26	38.5/— /24.5	— /21.5	— /24.5	— /21.5	20	10	8.5	—	—	—
平曲线最 小半径 /m	极限值		650	400	250	400	250	125	250	125	60	30	15
	一般值		1000	700	400	700	400	200	400	200	100	65	30
	不设 超高	$i\leq 2\%$	5500	4000	2500	4000	2500	1500	2500	1500	600	350	150
		$i>2\%$	7500	5250	3350	5250	3350	1900	3350	1900	800	450	200
停车视距/m			210	160	110	160	110	75	110	75	40	30	20
会车视距/m			—	—	—	—	—	—	220	150	80	60	40
超车视距/m			—	—	—	—	—	—	550	350	200	150	100
最大纵坡/%			3	4	5	4	5	6	5	6	7	8	9

续表

公路等级			高速公路			一级公路			二级公路		三级公路		四级公路
服务水平			二级			二级			三级		三级		按情况定
竖曲线 半径 /m	凸形	极限值	11000	6500	3000	6500	3000	1400	3000	1400	450	250	100
		一般值	17000	10000	4500	10000	4500	2000	4500	2000	700	400	200
	凹形	极限值	4000	3000	2000	3000	2000	1000	2000	1000	450	250	100
		一般值	6000	4500	3000	4500	3000	1500	3000	1500	700	400	200
竖曲线最小长度			100	85	70	85	70	50	70	50	35	25	20
路基设计洪水频率			1/100			1/100			1/50		1/25		按情况定

### 6.1.2.2 公路的结构建设

#### (1) 公路的路基

路基是行车部分的基础,由土、石按照一定尺寸、结构要求建筑成带状土工结构物。路基必须具有一定的力学强度和稳定性,且经济合理,以保证行车部分的稳定性和防止自然破坏力的损害。公路路基的横断面一般有三种形式:路堤[图 6-3(a)]、路堑[图 6-3(b)]和半填半挖。路基以填方方式构成为路堤,以开挖方式构成为路堑。路基的几何尺寸由路基高度、路基宽度和边坡坡度组成。路基高度由地形和路线纵断面设计确定;路基宽度则根据设计交通量和公路技术等级而定;路基边坡则取决于土质、地质、水文与水文地质条件、路基高度等因素。

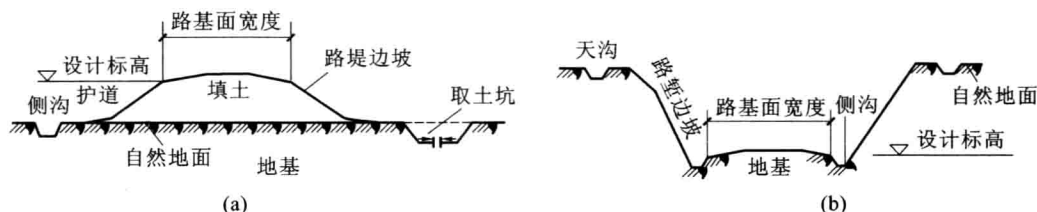


图 6-3 路基的形式

(a) 路堤; (b) 路堑

路基完全暴露在大自然中,受到各种复杂的地形、地质、气候、水文以及地震等自然条件的影响,从而引发各种路基病害。如路堑边坡被水流冲蚀,路基冻害,雨季发生大滑坡以及地层砂土液化引起路基滑走等路基病害,均与自然条件有密切关系。路基同时受静荷载(路面结构和附属建筑物产生)和动荷载(车辆荷载产生)的作用,动荷载是引起路基病害的主要原因之一。为保证路基正常工作,路基结构应满足三个基本要求:①路基必须平顺,路基面有足够宽度和限界,以保证行车安全和便于线路维修养护的安全空间;②路基必须具有足够的强度、刚度、稳定性和耐久性,即在自重作用下没有过大沉降,在车辆荷载作用下没有过大变形,在地面及地下水冰冻时承载力不降低,在车载或各种自然因素作用下路基不会发生整体滑坡;③路基的设计和施工应满足技术经济要求。

#### (2) 公路的路面

公路路面是用各种筑路材料分层铺筑而成的路基顶面的结构物,以供汽车安全、迅速和舒适地行驶。因此,路面必须具有足够的力学强度和良好的稳定性,以及表面平整和良好的抗滑性能。路面结构如图 6-4 所示。



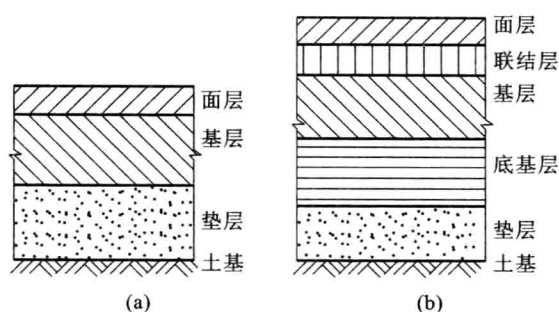


图 6-4 路基结构图

(a)低、中级路面;(b)高级路面

路面应该满足四个基本要求。

①功能性好。路面应是能提供快速、安全、舒适和经济的车辆行驶表面。它和路面的平整度、车辆悬挂系统的振动特性和人对振动的接受能力三方面因素有关,其中最主要的影响因素是路面的平整度。

②结构性能好。路面在使用过程中,受到行车荷载和环境等因素的作用不出现以下损坏:断裂或裂缝类损坏,使路面结构的整体性受到破坏;永久变形类损坏,使路面结构有永久的较大变形;耗损类损坏,使路面部分材料散失或磨损。

③耐久性好。路面在达到预定的损坏状况之前就能承受行车荷载作用的次数或使用年限。

④安全性好。其指路面表面的抗滑能力。如车辙深度为 10~13mm,车辆高速行驶时会因车辙内积水而出现飘滑现象。

路面一般按其力学性质分为柔性路面和刚性路面两大类。柔性路面指的是刚度较小、抗弯拉强度较低,主要靠抗压、抗剪强度来承受车辆荷载作用的路面。柔性路面主要包括各类沥青面层、块石面层、砂石路面中的级配碎(砾)石、水结构碎石、填隙碎石及其他粒料路面面层。刚性路面,是指水泥混凝土路面,它一般强度高,刚性大,板体性好,在车轮的作用下路面的变形较小。还有一类半刚性材料,主要为无机结合料(水泥、石灰)、水硬性材料(稳定土、砂、砾石)和工业废料(如粉煤灰、矿渣等)。此类材料后期强度增长较大,最终强度比柔性路面强度高,但比刚性路面强度低。它不耐磨耗,只作为柔性或刚性路面的基层使用。

路面设计的主要内容:路面结构层的选择,组合方案的提出;各结构层混合料的组合设计;各结构层的厚度设计;方案的工程经济分析和比选;实施方案的确定。

近年来兴起沥青玛蹄脂碎石(Stone Mastic Asphalt, SMA)路面。SMA 是由沥青、纤维稳定剂、矿粉和少量细集料组成的沥青玛蹄脂填充间断级配的粗集料的一种新型沥青混合料。这种结构能全面提高沥青混合料和沥青路面的使用性能,使路面具有较强的高温抗车辙能力和低温抗裂性、抗滑性和耐久性。从而减少维修养护费用,延长使用寿命。它主要解决路面的车辙问题,用于承受重交通荷载及高轮压的道路和机场路面。首都机场东跑道是世界上首次使用改性沥青和沥青玛蹄脂碎石结构的跑道。

彩色路面也越来越引起人们关注。在厦门市环岛路黄厝段海滨浴场铺设的长 3.4km 的铁红色路面,是我国第一条较长的彩色沥青路面。修筑彩色沥青路面,存在着如何能把黑色的沥青脱成浅色的问题,因此开发和研究浅色胶结料以及如何脱去沥青中的沥青质使得沥青变成浅色,是彩色路面迫切需要解决的问题。

### (3) 公路排水结构物

为了确保路基稳定,免受地面水和地下水的侵害,公路还应修建专门的排水设施。地面水的排除系统按其排水方向不同,分为纵向排水和横向排水。纵向排水有边沟、排水沟和截水沟等。横向排水有桥梁、涵洞、路拱、透水路堤、过水路面和渡水槽等。

### (4) 公路特殊结构物

公路的特殊结构物有隧道、悬出路台、挡土墙、防石廊和防护工程等。隧道是为公路从地层内部或水层下通过而修建的结构物,当公路翻山越岭或穿过深水时,为了改善平面、纵面的线形和缩短路线长度,一般通过开凿隧道来解决。

### (5) 公路沿线附属结构

在公路上,除了上述各种基本结构以外,为了保证行车安全、迅速、舒适和美观,还需设置交通管理设施、交通安全设施、服务设施和环境美化设施等。

交通管理设施是为了保证行车安全,沿线设置的交通标志、路面标线和交通信号等。

公路交通标志分为以下三类:a. 指示标志:指示司机行驶的方向、行驶里程等;b. 警告标志:警告前方有行车障碍物和行车危险的地方等;c. 禁令标志:如限速标志、载重标志和不准停车的标志等。

路面标线是布设在路面上的一种交通限制的标志。白色连续实线表示不准逾越的车道分界线;白色间断线表示车辆可以逾越的车道分界线;白色箭头指示线用以指引汽车左、右转弯或直行;黄色连续实线表示严禁车辆逾越的车道分界线等。

交通安全设施是为了保证行车安全和发挥公路的作用,在各级公路的急弯、陡坡等路段,均需按规定设置必要的安全设置,如护栏、护柱等。

服务性设施,一般是指渡口码头、汽车站、加油站、修理站、停车场、餐厅、旅馆等。

环境美化设施是美化公路、保护环境不可缺少的部分。如路侧带和中间分隔带等地的绿化等,原则上是以不影响司机的视线和视距为宜。

## 6.2 城市道路

通达城市各个地区,供城市内交通运输及行人使用,便于居民生活、工作及文化娱乐活动,与城市外道路连接并承担对外交通的道路称为城市道路。

城市道路一般比公路宽阔,为适应城市里种类繁多的交通工具,常划分为机动车道、公共交通优先专用道、非机动车道等。道路两侧有高出路面的人行道和房屋建筑。人行道下一般多埋设公共管线。城市道路两侧或中心地带,有时还设置绿化带、雕塑艺术品等,起到美化城市的作用。

### 6.2.1 城市道路的特点

为了适应城市的人流和车流顺利运行,城市道路应具有如下特点:

- ①道路路幅要满足繁重的城市交通要求;
- ②路面要坚固耐久、平整抗滑,以利于车辆安全、舒适、快速地行驶;
- ③扬尘少、噪声小,利于环境卫生;
- ④便利的排水设施以便于雨和雪水及时排出;
- ⑤充分的照明设施以利于居民晚间活动和车辆运行;
- ⑥道路两侧要设置足够宽的人行道、绿化带、地上杆线、地下管线等。

城市各重要活动中心之间要有便捷的道路连接,以缩短车辆的运行距离。城市的次要部分也要有道路通达,以便于居民出行。城市道路繁多而又集中在城市的有限面积之内,纵横交错成网状,且有许多影响道路相互流畅连接的交叉路口,所以必须采取各种措施保证通行能力:

①设置红绿灯信号管制,环形交叉,立体交叉等以利于交通流畅。

②城市交通工具种类繁多,速度快慢参差不齐。为了避免互相干扰,必须进行分道行驶,常采用隔离带、隔离墩、护栏或画线等方法加以分隔。

③城市公共交通工具需设置停车站台,还需设置公共停车场以备各种社会车辆停车之用。

④在交通繁忙的街道为行人设置过街天桥或地下通道,保障行人安全,保持道路畅通。

### 6.2.2 城市道路的类型

一般在城市的道路系统中,根据《城市道路设计规范》(CJJ 37—2012),依据道路的地位和交通功能以及对沿线的服务功能等,将城市道路分为四个等级:快速路、主干路、次干路和支路。

#### (1)快速路

快速路是为流畅地处理城市大量交通而建设的道路。快速路要有平顺的线形,与一般道路分开,使汽车交通安全、通畅和舒适。快速路应中央分隔、全部控制出入、控制出入口间距及形式,实现交通连续通行,单向设置不应少于两条车道,并设有配套的交通安全与管理设施。快速路两侧不应设置吸引大量车流、人流的公共建筑物的出入口。如北京的三环路和四环路、上海的外环线等。一般在交叉路口也建有立体交叉。

#### (2)主干路

主干路连接城市各主要分区,以交通功能为主。主干路两侧不宜设置吸引大量车流、人流的公共建筑物的出入口。主干路是连接城市各主要部分的交通干道,是城市道路的骨架。主干路上要保证一定的车速,故应根据交通量的大小设置相应的车道数,以供车辆通畅行驶。线形应顺捷,交叉口宜尽量少,以减少干扰,平面交叉应有交通控制措施,目前有些城市以高架式的道路实现城市主干路。如上海的内环高架路,为实现连接城市各区和主要部分的交通干路,已形成“申”字形的平面线形。

#### (3)次干路

次干路一般为一个区域内的主要道路,是一般交通道路并兼有服务功能,配合主干路共同组成城市的干路网,起到广泛联系城市各部分与集散交通的作用,一般情况下快慢车混合使用。

#### (4)支路

支路宜与次干路和居住区、工业区、交通设施等内部道路相连接,应解决局部地区交通问题,以服务功能为主。

在城市道路中,还有一些货运、防洪、消防、旅游等专用道路,这些道路除应满足相应道路等级的技术要求外,还应满足专用道路及通行车辆的特殊要求。

## 6.3 高速公路

### 6.3.1 高速公路的特点

高速公路是一种具有四条以上车道,路中央设有隔离带,分隔双向车辆行驶,互不干扰,全封闭,全立交,控制出入口,严禁产生横向干扰,为汽车专用,设有自动化监控系统,以及沿线设有必要

服务设施的的道路,如图 6-5 所示。高速公路的造价很高,每千米造价大约 3000 万元,占地多,但是从其经济效益与成本比较看,高速公路的经济效益还是比较显著的。



图 6-5 高速公路

高速公路除具有普通公路的功能外,还具有下列特殊的功能与特点。

(1) 交通限制、汽车专用

交通限制主要指对车辆和车速加以限制。高速公路规定,凡非机动车和由于车速低可能形成危险和妨碍交通的车辆,均不得使用高速公路。为避免车速相差过大,减少超车次数,在高速公路上还对最高和最低车速加以限制。一般规定 50km/h 以下的车辆不得上路,最高车速不能超过 120km/h。

(2) 分隔行驶

分隔行驶包括两个方面:一是在对向车道间设有中央分隔带,实行往返车道分离,从而避免对向撞车;二是对于同一方向的车辆,至少设有两个以上车行道,并用画线的办法划分车道。对于行驶中需超车行驶的车辆,设有专门的超车道,以减少超车和同向车速差造成的干扰。

(3) 沿线封闭、控制出入

在高速公路的沿线用护栏和路栏把高速公路与外界隔开,以控制车辆出入。所谓控制出入有两个含义:一是只准汽车在规定的一些出入口进出高速公路,不准任何单位或个人将道路接入高速公路;二是在高速公路主线上不允许有平面交叉路口存在。

(4) 高标准线形

高等级公路极大地避免了长直线形路段,采用大半径曲线形,根据地形以圆曲线或缓和曲线为主。增加了路线美感,更有利于行车安全。

(5) 设施完善

采用较高的线形标准和设置完善的交通安全与服务设施,从行车条件和技术上为安全、快速行车提供可靠的保证。

(6) 通行能力大

高速公路路面宽、车道多,可容车流量大,通行能力大,从根本上解决了交通拥挤与阻塞问题。据统计,一般双车道公路的通行能力为 5000~6000 辆/天,而一条四车道高速公路的通行能力可达 34000~50000 辆/天,六车道和八车道可达 70000~100000 辆/天。由此可见,高速公路的通行能力比一般公路高出几倍乃至几十倍。

### (7) 行车安全

行车安全是反映交通质量的根本标志。因为高速公路有严格的管理系统,全程采用先进的自动化交通监控手段和完善的交通设施,全封闭、全立交、无横向干扰,因此交通事故率大幅度下降。据国外资料统计,与普通公路相比,交通事故率美国下降 56%,英国下降 62%,日本下降 89%。另外高速公路的线形标准高,路面坚实平整,行车平稳,乘客不会感到颠簸。

### (8) 降低运输成本

高速公路完善的道路设施条件使主要行车消耗——燃油与轮胎消耗、车辆磨损、货损及事故赔偿损失降低,从而使运输成本大幅降低。

### (9) 带动沿线经济发展

高速公路的高能、高效、快速通达的多功能作用,使生产与流通、生产与交换周期缩短,速度加快,促进了商品经济的繁荣发展。实践表明,凡在高速公路沿线,都会兴起一大批新兴工业、商贸城市,其经济发展速度远远超过其他地区,被称为高速公路的“产业经济带”。

## 6.3.2 高速公路的发展概况

我国高速公路起步较晚,但发展迅猛。沈大高速是中国内地第一条建设的高速公路,也是中国内地第一条八车道高速公路,全长 348km,于 1984 年 6 月 27 日开工,于 1990 年 8 月 20 日通车。第一条完工投入使用的是沪嘉高速公路,于 1988 年 10 月开始通车,结束了我国大陆没有高速公路的历史。

根据国民经济和社会发展战略部署,中华人民共和国原交通部于“八五”计划期间提出了公路建设的发展方针和长远目标规划,即“五纵七横”,如图 6-6 所示。“五纵七横”是我国规划建设的以高速公路为主的公路网主骨架,总里程约  $3.5 \times 10^4$  km。“五纵”指同江—三亚、北京—珠海、重庆—湛江、北京—福州、二连浩特—河口。“七横”指连云港—霍尔果斯、上海—成都、上海—瑞丽、衡阳—昆明、青岛—银川、丹东—拉萨、绥芬河—满洲里。“五纵七横”计划从 1991 年到 2020 年,用 30 年的时间,将全国重要城市、工业中心、交通枢纽和主要陆上口岸连接起来,并连接所有目前人口在 100 万以上的特大城市和绝大多数目前人口在 50 万以上的中等城市,逐步形成与国民经济发展格局相适应、与其他运输方式相协调且主要由高等级公路组成的快速、高效、安全的国道主

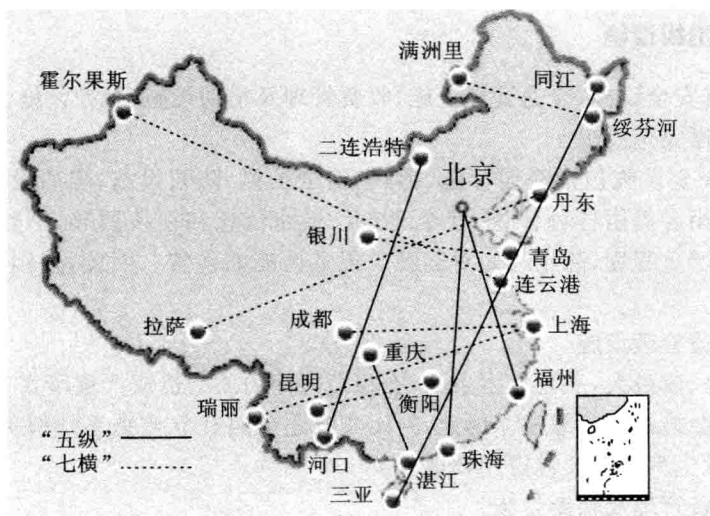


图 6-6 “五纵七横”国道主干线示意图

干线系统。该国道主干线系统建成后,以占全国 2% 的公路里程承担占全国 20% 以上的交通量。“五纵七横”国道主干线已于 2007 年全线贯通,提前 13 年完成规划目标。

2004 年,规划国家高速公路网采用放射线与纵横网格相结合布局的方案,由 7 条首都放射线、9 条南北纵线和 18 条东西横线组成,简称为“7918”网,总规模约  $8.5 \times 10^4 \text{ km}$ ,其中主线  $6.8 \times 10^4 \text{ km}$ ,地区环线、联络线等其他路线约  $1.7 \times 10^4 \text{ km}$ 。我国将用 30 年时间完成“7918”国家高速公路网建设。这个  $8.5 \times 10^4 \text{ km}$  的高速公路网可覆盖 10 多亿人口,把我国人口超过 20 万的城市全部连接起来,加上地方的高速公路,届时我国高速公路总里程将达到  $12 \times 10^4 \text{ km}$  左右。

截至 2012 年 12 月底,中国现有高速公路  $9.6 \times 10^4 \text{ km}$ ,居世界首位。

### 6.3.3 高速公路设计

高速公路的几何设计标准比其他等级的公路要求高。我国公路工程技术标准的主要规定如下:

#### (1)最小平曲线半径及超高横坡限制

对于设计车速为 120km/h 的高速公路,平曲线的一般最小半径为 1000m,极限最小半径为 650m,超高横坡限值为 10%。

#### (2)最大纵坡和竖曲线

高速公路的最大纵坡限为 3% (平原微丘区)~5% (山岭区),竖曲线极限最小半径凹形为 4000m,凸形为 11000m。

#### (3)线形要求

高速公路应保证司机有良好的视线诱导,因此不应出现急剧的起伏和扭曲的线形,并使线形保持连续、调和与顺畅,即在视线所及的一定线路内不出现转折、错位、突变、虚空或遮断,线形彼此有良好的配合,圆滑顺畅,没有过大差比。

#### (4)横断面

行车带的每一个行驶方向至少有两个车道,便于超车。车道宽 3.75m。中间带一般在平原微丘区中央分隔带宽 3.00m,左侧路缘带宽 0.75m,中间带全宽 4.50m,地形受限制时分别为 2.00m、2.50m 和 3.00m。路肩在平原微丘区硬路肩宽不应小于 2.50m,土路肩宽不小于 0.75m。

### 6.3.4 高速公路的沿线设施

高速公路沿线有安全设施、交通管理设施、收费管理及辅助设施、服务设施、环境美化设施等。

#### (1)高速公路交通安全设施

高速公路交通安全设施包括交通标志、标线、安全护栏、防眩设施、隔离设施、视线诱导标等。其作用有:为道路使用者提供各种警告、禁令、指示、指路信息和视线诱导,排除干扰,提供路侧保护,减轻潜在事故的严重程度,防止眩光对驾驶员视觉性能的伤害。因此,各国对这些基础设施的开发研究非常重视。

#### (2)高速公路交通管理设施

高速公路车速快、流量大,一旦发生交通事故,在很短时间内就会造成严重堵塞。尤其是夜晚,若及时发现并处理,还会造成连续事故。因此,封闭式高速公路建立监控系统极为必要,可随时传递信息,采取措施,使发生事故者及时得到救援。

#### (3)高速公路收费管理及辅助设施

目前,世界上有 40 多个国家存在收费道路,包括发达的工业化国家和一些发展中国家。纵观



世界各国的收费情况,总的趋势是收费系统由人工向半自动和自动化发展,有的国家已开始自动化收费系统的建设。

#### (4) 高速公路沿线服务设施

高速公路是封闭式的道路,因此,每隔 30~50km,应该设立一个综合性的服务区,给用户提供能停车休息、饮食、加油、修理、购物甚至住宿和娱乐的服务中心。服务区应建在紧靠高速公路并能自由上下高速公路的地方。停车场及旅馆的规模可根据沿线情况定,一般可安排 100 辆车的停车场;有 100 个床位以上的旅馆,一个中型饭店(以快餐为主)、杂货店、一个加油站及汽车修理站。服务区隶属高速公路管理部门经营,以利于整个高速公路的协调管理。

#### (5) 高速公路环境美化设施

环境美化设施是保证司机高速行驶时在视觉上和心理上协调的重要环节。因此,高速公路在设计、施工、养护、管理的全过程中,除满足工程和技术的要求外,还要以美学观点加以考量,经过多次调整、修改,使高速公路与当地的自然风景协调而成为优美的彩带。

### 本章小结

(1) 公路分为国家干线公路(简称国道)、省级干线公路(简称省道)、县级公路(简称县道)、乡级公路(简称乡道)和专用公路等。

(2) 公路可划分为五个等级:高速公路、一级公路、二级公路、三级公路和四级公路。

(3) 道路线型的三个基本参数:路线平面,路线纵断面、横断面,空间线型组合。

(4) 公路结构是由路基、路面、桥涵、隧道以及沿线附属结构设施等组成。

(5) 城市道路分为四个等级:快速路、主干路、次干路和支路。

(6) 高速公路的特点是:交通限制、汽车专用,分隔行驶,沿线封闭、控制出入,高标准线形,设施完善,通行能力大,行车安全,降低运输成本,带动沿线经济发展。

(7) 高速公路沿线有安全设施、交通管理设施、收费管理及辅助设施、服务设施、环境美化设施等。

### 独立思考

6-1 公路可以分几类? 公路的等级有哪些? 其划分的依据是什么?

6-2 公路建设由哪两大部分构成?

6-3 城市道路可以分为哪些等级?

6-4 高速公路的特点是什么?

6-5 什么是“五纵七横”国道主干线?

6-6 高速公路沿线设施有哪些?

### 参考文献

[1] 周新刚. 土木工程概论. 北京:中国建筑工业出版社,2011.

[2] 易成,沈世钊. 土木工程概论. 北京:中国建筑工业出版社,2010.

[3] 叶志明. 土木工程概论. 北京:高等教育出版社,2009.



## 7 隧道与地下工程

### 【内容提要】

本章主要内容为地下空间利用的发展历程,地下空间的优缺点,隧道的基本概念、类型、结构及施工方法,地下工程的利用形态等。本章的教学重点为隧道的结构及施工方法;教学难点为隧道的施工方法。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应熟悉隧道类型、结构构成和施工方法,了解地下工程结构的特点和利用等。

### 7.1 概 述

#### 7.1.1 地下空间利用的发展过程

地下空间是指属于地表以下,主要针对建筑的一个名词,它的范围很广,如地下商城、地下停车场、地铁、矿井、军事、穿海隧道等建筑空间。

人类对地下空间的利用经历了一个从自发到自觉的过程,与人类的文明历史是相呼应的,整个过程大致可以分为四个时期,即远古、古代、中世纪、近代和现代。

##### 7.1.1.1 远古:人类出现—公元前 3000 年

这一时期是人类利用洞穴作防御风、雨,避暑寒以及各种自然灾害的穴居时代,主要用兽骨等工具开挖出洞穴而加以利用。

考古学家证明山洞是我国原始居民的最初住所。在我国的北方和南方,有许多适合古人类居住的山洞。例如,河南安阳小南海遗址,旧石器时代中期的马坝人遗址和贵州黔西观音洞遗址等。其中最著名、最早的原始人类住所要数北京周口店的北京人洞穴。

##### 7.1.1.2 古代:公元前 3000 年—5 世纪

这个时期人类社会进入了铜、铁器时代,劳动工具的进步和生产关系的改变,使得生产力有了很大发展。这个时期的地下空间技术可看作是今天地下空间技术的基础。典型的地下工程是古巴比伦王朝修建的横断幼发拉底河的水底隧道、古罗马的下水道及我国秦汉时期的陵墓和地下粮仓等。

##### 7.1.1.3 中世纪:5—14 世纪

这一时期欧洲经历了千年文化低潮,但世界范围内的矿石开采技术开始出现,我国已经能建造宏伟的宫殿、庙宇和墓室。黄土窑洞大量用于官府的粮仓。较为典型的有洛阳东北建立的地下粮仓及后来的云冈石窟、龙门石窟、敦煌莫高窟。

#### 7.1.1.4 近代和现代:15 世纪—现在

由于欧洲文艺复兴、产业革命和蒸汽机及黄色炸药的发明和应用,加速了地下工程的发展。如矿物开采、运河隧道的修建以及随着城市发展开始修建的地下铁道、地下存储库、地下停车场、地下商业街、上下水道等。

### 7.1.2 开发地下空间的意义

向地下要土地、要空间已成为城市历史发展的必然。实践表明,它是提高土地利用效率与节省土地资源、缓解中心城区高密度、实现人车立体分流、疏导交通、扩充基础设施容量、增加城市绿地、保护城市历史文化景观、减少环境污染、改善城市生态的最有效途径。

#### 7.1.2.1 利于城市的改造和更新

在城市的不断改造、更新和发展的过程中,建筑密度过高、交通拥挤、没有足够的开敞空间,是很多城市面临的问题。特别在城市中心区,这个问题尤为突出。地下空间的开发在很大程度上可以解决城市更新发展中面临的问题。

#### 7.1.2.2 利于保存原有历史环境

在社会发展过程中,老建筑经常面临扩建问题。在扩建过程中又会面临如何使原有建筑与城市风貌相协调的问题。而这时的地下空间相对于地面建筑的“无形”或“少形”,尤其有利于扩建时不破坏原有建筑风格,与环境相协调,因而成为地下空间开发优先考虑的问题。1989 年建成的法国巴黎卢浮宫的扩建工程,把整个建筑设在地下;英国爱丁堡市中心公主大街的扩建、美国华盛顿东方艺术中心和非洲艺术博物馆等都是地下空间利用的成功典范。很多大学中的新建筑物都充分利用地下,如康奈尔大学、耶鲁大学、哈佛大学、密歇根大学、明尼苏达大学等的图书馆、书店都建于地下。

法国巴黎的埃菲尔铁塔也在“脚底”做足了文章。该塔于 1889 年向游人开放,1983 年游客总量为 1 亿人次。其 19 世纪的支撑体系已很难满足更多的游人,于是开挖地下空间,以便为游客提供更好、更舒适的入口和设施。该开挖工程在 2005 年动工,整个工程造价为 6100 万~7600 万美元。采用 10 年前卢浮宫扩建工程入口同样的手法,不会对埃菲尔铁塔造成景观破坏。建成的埃菲尔地下购物中心囊括了餐厅、咖啡厅、电影院、音乐厅还有博物馆等。

#### 7.1.2.3 利于创造城市开敞空间

广场为城市中的人们提供休憩、娱乐、交往的场所,并且展现着城市的文化风貌,是“城市的客厅”。绿地是城市中植物生长的空间,在创造宜人环境、优美景观的同时,还有利于改善城市气候和维护城市的生态平衡,减少污染,是生态系统的重要部分。对于城市中心区等高密度地段来讲,广场和绿地对于更好地发挥城市综合效益具有很重要的意义。

对于土地价值高、开发强度大、各种城市矛盾集中的城市中心地区来讲,保留乃至开辟新的广场、绿地的代价巨大。而开发地下建筑空间,将屋面用作开敞空间和绿化,就可以很好地解决这一难题。

#### 7.1.2.4 利于保存地面自然风貌

在自然景区,为了尽量减少人工构筑物对自然的入侵和破坏,向地下发展是建筑师惯用的手法。建筑师贝幸铭设计的日本滋贺县美浦博物馆(Miho Museum, Shigaraki, Japan, 1997)是一个典型的例子。该建筑位于山峦起伏、丛林密布的自然保护区中。考虑到环境因素,贝幸铭一改往日博物馆建筑规整的几何形式,而采用小体量、分散化的布局,将85%的体量建在地下。

甘肃省的敦煌莫高窟文物研究保存展览中心处于另一种风景当中,它位于戈壁滩沙漠,与莫高窟遥遥相望。为了不破坏大漠意境,日本建筑师三栖邦博、洪田明彦等确定了建筑与地形一体化的构思,将基地选择在高差为5~6m的起伏平缓的丘陵上。在这种不良气候地区,将建筑物大部分埋入沙漠中,利用地下空间良好的热稳定性和封闭性来调节建筑内部环境,节能效益明显。

#### 7.1.2.5 利于节约能源

一般情况下,建筑物在土中埋得越深,节能效果越好。这是因为地下建筑具有渗透性低,围护结构失热、得热较少,温度比较稳定等特点。通俗地讲,地下建筑具有冬暖夏凉的特点,与地上建筑相比,可以大大节省冬季取暖、夏季制冷的能源消耗。

#### 7.1.2.6 利于防灾防噪

由于地震的随机性与复杂性,地面建筑的抗震设计仍然不能达到令人满意的程度,而且对战争灾害无法应对。而地下空间建筑则有较强的防灾减灾优越性,可有效地防御包括核武器在内的各种武器的杀伤破坏作用,对地震、风、雪等自然灾害及爆炸、火灾等灾害抵御能力较强,如对爆炸、火灾的蔓延控制较容易。

20世纪90年代初进攻伊拉克的“海湾战争”,以美国为首的多国部队,在空袭中出动了11万架次飞机,发射了280枚“战斧式”巡航导弹,总投弹量达30万吨。伊拉克首都巴格达在空袭中除疏散一部分人员外,有200万人全部转入地下防护空间内。耗费500多亿美元的地下防护工程,有效地保护了军事力量和装备,减少了人民生命财产的损失。

另外,地下空间还具有隔绝地面噪声的特点。如将有噪声的工业设施布置于地下,则不需要设缓冲地带。

## 7.2 隧道工程

### 7.2.1 隧道工程的概念及分类

#### 7.2.1.1 隧道的概念

隧道是埋置于地层内的一种地下建筑物,但市政管道等孔径较小的除外。经济合作与发展组织(OECD)在1970年的隧道会议上对隧道所下的定义为:以某种用途,在地面下用任何方法按规定形状和尺寸,修筑的横断面积大于 $2\text{m}^2$ 的洞室。

#### 7.2.1.2 隧道的分类

①按照隧道所处的地质条件分为土质隧道和石质隧道。

②按照隧道的长度分为短隧道(铁路隧道规定: $L \leq 500\text{m}$ ;公路隧道规定: $L \leq 500\text{m}$ )、中长隧道(铁路隧道规定: $500\text{m} < L \leq 3000\text{m}$ ;公路隧道规定: $500\text{m} < L < 1000\text{m}$ )、长隧道(铁路隧道规定: $3000\text{m} < L \leq 10000\text{m}$ ;公路隧道规定: $1000\text{m} \leq L \leq 3000\text{m}$ )和特长隧道(铁路隧道规定: $L > 10000\text{m}$ ;公路隧道规定: $L > 3000\text{m}$ )。

③按照国际隧道协会(ITA)定义的隧道横断面积的大小划分标准分为极小断面隧道(断面面积为 $2 \sim 3\text{m}^2$ )、小断面隧道(断面面积为 $3 \sim 10\text{m}^2$ )、中等断面隧道(断面面积为 $10 \sim 50\text{m}^2$ )、大断面隧道(断面面积为 $50 \sim 100\text{m}^2$ )和特大断面隧道(断面面积大于 $100\text{m}^2$ )。

④按照隧道所在的位置分为山岭隧道、水底隧道和城市隧道。

⑤按照隧道埋置的深度分为浅埋隧道和深埋隧道。

⑥按照隧道的用途分为交通隧道、水工隧道、市政隧道和矿山隧道。

### 7.2.2 隧道结构组成

隧道的结构包括主体构筑物和附属构筑物两部分。隧道的主体构筑物是为了保持隧道的稳定,保证列车安全运行而修建的,由洞身衬砌和洞门构筑物组成,在洞口容易坍塌或有落石危险时则需接长洞身或加筑明洞。隧道的附属构筑物是为了养护、维修工作的需要以及供电、通信等方面的要求而修建的,包括防排水设施、避车洞、电缆槽、长大隧道的通风和照明设施以及在电气化铁路上根据情况而设定的有关附属设施等。

#### 7.2.2.1 洞身衬砌

目前,隧道常用的衬砌结构类型有:单层衬砌(整体式模筑混凝土、喷锚永久衬砌或砌体衬砌)、复合式衬砌、装配式衬砌等。《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2005)规定,隧道应设衬砌,并应优先采用复合式衬砌,地下水不发育的Ⅰ、Ⅱ级围岩的短隧道,可采用喷锚衬砌。

##### (1) 单层衬砌

喷锚衬砌是指以喷锚支护作永久衬砌的统称,包括喷混凝土衬砌、锚杆喷混凝土衬砌,必要时可采用钢纤维喷混凝土或配合使用钢筋网、钢架等。喷锚衬砌可用于地下水不发育的Ⅰ、Ⅱ级围岩的短隧道。8度及以上地震区的隧道,一般不宜采用喷锚衬砌。

##### (2) 复合式衬砌

复合式衬砌是指外层用喷锚作初期支护,内层用模筑混凝土作二次衬砌的永久结构,两层间可根据需要设置防水层。复合式衬砌可用于各级围岩,在浅埋或土砂、流变和膨胀性围岩中,当采取地层加固等辅助措施时,也可采用复合式衬砌。如图7-1所示为时速160km/h及160km/h以下铁路隧道Ⅳ级围岩复合式衬砌标准图,其中单线Ⅳ级、双线Ⅲ级及以上地段均应设置仰拱。目前复合式衬砌已成为世界各国及地区高速铁路山岭隧道衬砌结构的主流。

我国客运专线铁路隧道衬砌结构类型选择中,在围岩稳定性差、地下水发育地段,推荐采用复合式衬砌。图7-2为时速350km/h及350km/h以下铁路隧道双线Ⅳ级围岩衬砌结构断面。

##### (3) 装配式衬砌

装配式衬砌是用工厂或工地预制的构件拼装而成的隧道衬砌。装配式衬砌与整体式(模筑)衬砌相比,可以减轻工人的劳动强度,节约劳动力,降低建筑材料消耗和提高衬砌质量。一般来说,装配式衬砌的造价较低,施工进度也较快。由于衬砌拼装就位后几乎就能够立即承重,拼装工作可以紧接隧道开挖面进行,因而缩短了坑道开挖后毛洞的暴露时间,使地层压力不致过大,而且不用临时支撑,可借助于机械化快速施工和工业化生产。采用装配式衬砌是隧道和地下工程的发展方向之一。

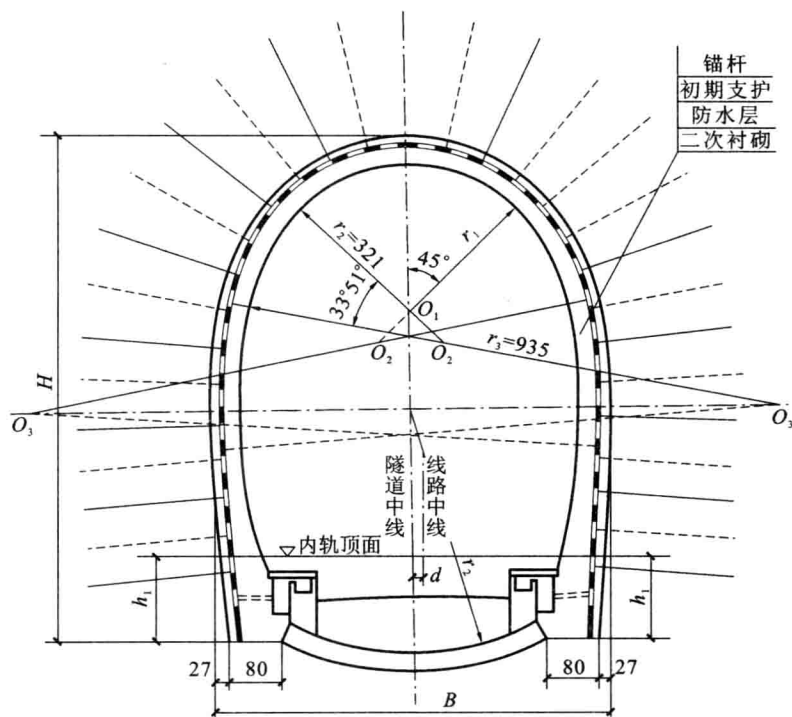


图 7-1 时速 160km/h 及 160km/h 以下铁路隧道Ⅳ级围岩复合式衬砌(单位:cm)

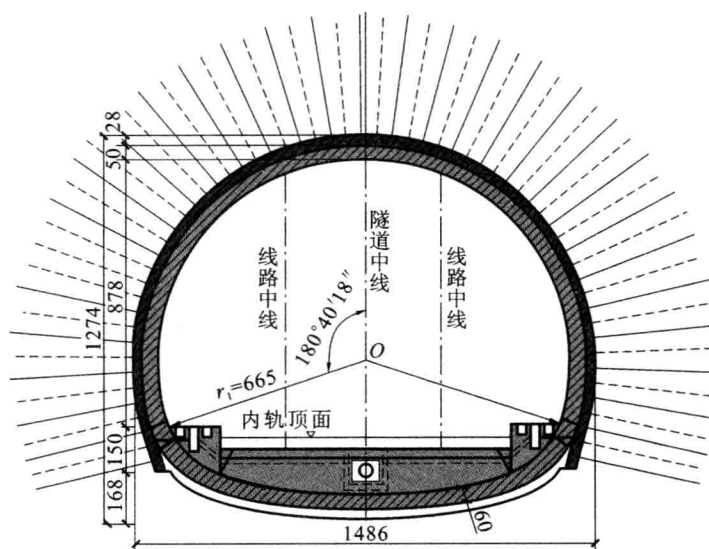


图 7-2 时速 350km/h 及 350km/h 以下铁路隧道Ⅳ级围岩复合式衬砌

在用盾构法施工的圆形隧道中,广泛采用装配式管片衬砌。在施工阶段它可作为临时支撑使用,并承受盾构千斤顶顶力和其他施工荷载,竣工后则作为永久性承重结构,并防止泥水渗入。必要时可在其内部灌注混凝土或钢筋混凝土内衬,以提高隧道的防水能力,修正施工误差,并起装饰作用。

用明挖法施工的地下结构,更适于采用装配式衬砌。当具有一定的运输和吊装能力时,对无水地层或解决好接头防水措施后,都可以大力推广。也可以先装配内层为一次衬砌,再以它为模板,在其外层再灌注一层现浇衬砌。

## 7.2.2.2 洞门

洞门是隧道两端的外露部分,也是联系洞内衬砌与洞口外路堑的支护结构,其作用是保证洞口边坡的安全和仰坡的稳定,引离地表流水,减少洞口土石方开挖量。洞门也是标志隧道的建筑物;因此,应与隧道规模、使用特性以及周围建筑物、地形条件等相协调。

洞门附近的岩(土)体通常都比较破碎松软,易于失稳,形成崩塌。为了保护岩(土)体的稳定和使车辆不受崩塌、落石等威胁,确保行车安全,应根据实际情况,选择合理的洞门形式。洞门是各类隧道的咽喉,在保障安全的同时,还应适当进行洞门和环境的美化。

在我国传统铁路隧道洞门的标准设计中,洞门结构的形式比较单一,主要有端墙式、翼墙式、柱式、台阶式等几种墙式洞门。

随着隧道施工技术的发展和完善,对洞口进行适当的加固措施及早进洞已经完全成为可能,这种方法最大限度地减少了施工对洞口山体的破坏和扰动,对保持洞口山体的稳定和环境保护具有特殊的意义,斜切式隧道洞口因洞口开挖量小,洞口圬工少等特点,适应这种要求,是洞口发展的趋势,如图 7-3 所示。

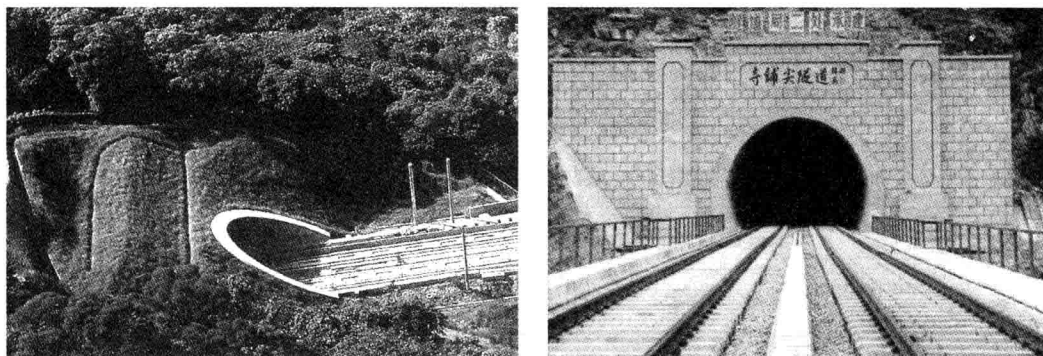


图 7-3 洞门形式发展图

## (1) 洞门的类型

## ① 端墙式洞门。

端墙式洞门适用于地形开阔、岩层稳定的 I ~ III 级围岩地区,其作用在于支护洞口仰坡,保持其稳定,并将仰坡水流汇集排出。端墙的构造一般是采用等厚的直墙,直墙圬工体积比其他形式都小,而且施工方便,如图 7-4 所示。

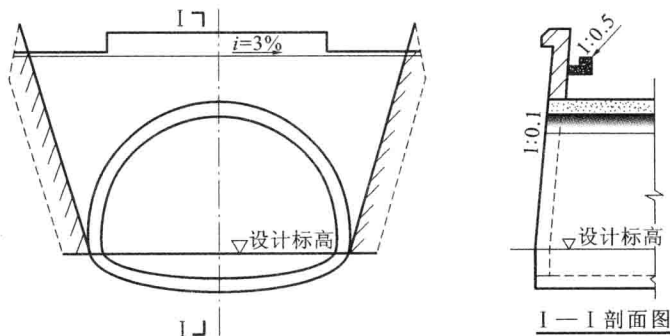


图 7-4 端墙式洞门

### ②翼墙式洞门。

翼墙式洞门如图 7-5 所示。

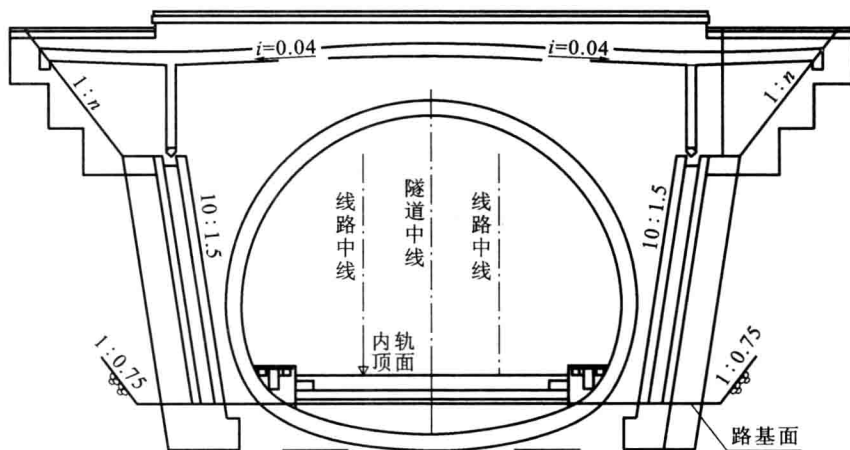


图 7-5 翼墙式洞门

### ③柱式洞门。

当地形较陡,地质条件较差,仰坡有下滑的可能性,但又受地形或地质条件限制,不能设置翼墙时,可以在端墙中部设置两个断面较大的柱墩,以增加端墙的稳定性的,如图 7-6 所示。这种洞门墙面有凸出线条,较为美观,适宜在城市附近或风景区内采用。对于较长大的隧道,采用柱式洞门比较壮观。

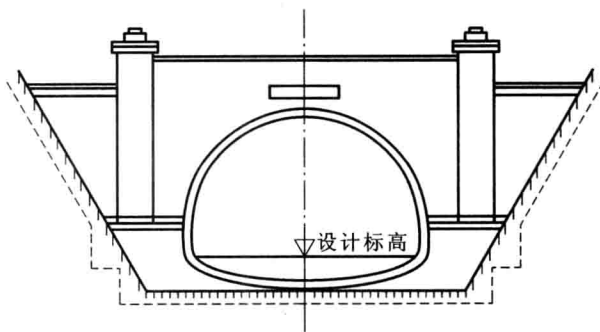


图 7-6 柱式洞门

### ④台阶式洞门。

当洞门处于傍山侧坡地区,洞门一侧边坡较高时,为减小仰坡高度及外露坡长,可以将端墙一侧顶部改为逐步升级的台阶形式,以适应地形的特点,减少仰坡土石方开挖量,这种洞门也有一定的美化作用,如图 7-7 所示。

### ⑤削竹式洞门。

当隧道洞口段有一节较长的明洞衬砌时,由于洞门背后一定范围内是以回填土为主,山体的推滑力不大时,可采用削竹式洞门,由于其结构形式类似竹筒被斜向削砍的样子而得名,如图 7-8 所示。近些年这种洞门结构在公路、铁路隧道的建造中被普遍使用。

### ⑥遮光棚式洞门。

当洞外需要设置遮光棚时,其入口通常外伸很远。遮光构造物有开放式和封闭式之分,前者遮



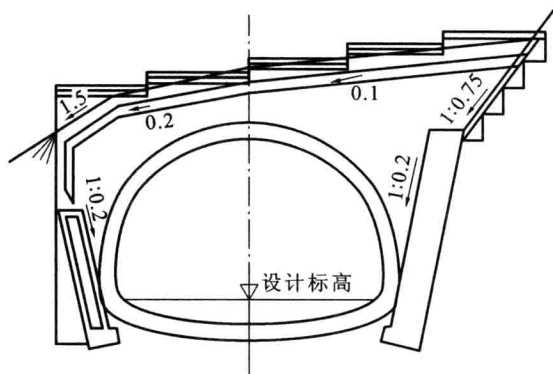


图 7-7 台阶式洞门

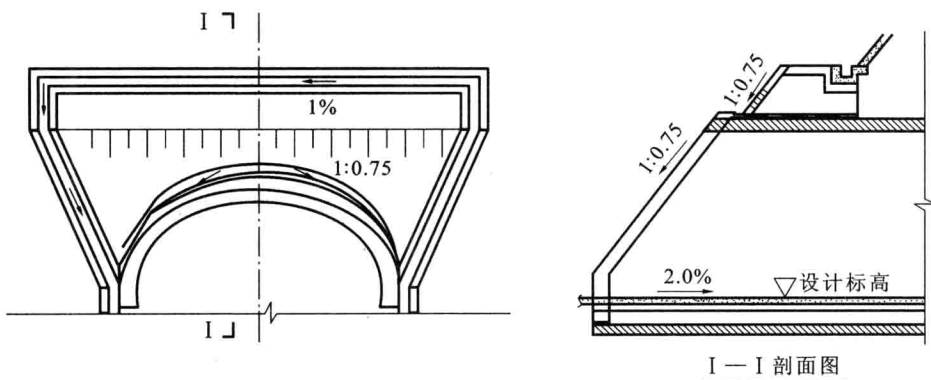


图 7-8 削竹式洞门

光板之间是透空的,后者则用透光材料将前者透空部分封闭。但透光材料上面容易沾染尘垢油污,养护困难,因此很少使用后者。遮光棚式洞门在形状上又有喇叭式与棚式之分。

### (2) 铁路隧道新型洞口形式

相对于传统的铁路隧道洞门,高速铁路隧道洞口结构的设计本着“简洁大方,美观实用,保护环境”的原则,以不刷坡或少刷坡施作的突出于山体的切削式洞口为主要建筑形式。除个别需要的工点(靠近城市、旅游景区等)外,一般不做更多的建筑修饰,体现自然美的环境意识。根据切削方式的不同及一些功能上的要求,铁路隧道洞口新型洞门的基本类型包括直切、正切、倒切、弧形挡墙加切削几种,又根据洞门与山体的相交关系分为正交和斜交两种。

### 7.2.2.3 明洞

#### (1) 明洞的类型

当隧道顶部覆盖层较薄,难以用暗挖法修建,或隧道洞口、路堑地段受塌方、落石、泥石流、雪害等危害,或道路与道路之间、公路与铁路之间形成立体交叉,但又不宜修建立交桥时,通常修建明洞,高速铁路隧道洞口一般均设有明洞,明洞设计了以下几种类型:

① 对称路堑式。对称路堑式明洞适用于地面横坡较为平缓,明洞两侧地形基本对称的情况。根据洞顶覆土厚度的不同,对称路堑式明洞又分为浅埋式和深埋式。

② 偏压路堑式。偏压路堑式明洞适用于地面横坡较大,但明洞外墙未露出地面,且外墙侧地层稳定的情况,明洞顶填土厚度一般小于 5m。偏压路堑式明洞断面形状及结构厚度均与对称路堑式相同,仅配筋量不同。

③单压路堑式。单压路堑式明洞适用于地面横坡较陡、明洞外墙露出地面,或外墙虽未露出地面但外墙侧地层不稳定的情况,明洞顶填土厚度一般小于 3m。

#### (2)明洞衬砌

拱形明洞结构和隧道整体式衬砌基本相似,是由拱圈、边墙、铺底(或仰拱)组成。半路堑拱形明洞由于衬砌所受荷载明显不对称,靠山侧所受荷载较大,外边墙及拱圈宜适当加厚,也可对称加厚。当拱形明洞边墙侧压较大及地层松软时,宜设仰拱。

根据明洞设置的目的、作用以及地形条件、山坡病害,明洞洞顶要进行回填,拱背要进行处理,明洞回填的具体要求参照隧道设计和施工的相关规范。

#### 7.2.2.4 隧道附属构筑物

##### (1)防排水设施

隧道防排水一般应依据“防、排、截、堵相结合,因地制宜,综合治理”的原则,达到防水可靠、排水通畅、线路基床底部无积水、经济合理的目的。

##### ①排水。

排水是将地下水引入隧道内,再经由洞内水沟排出洞外。绝对堵死地下水是做不到的,如果不给地下水以出路,衬砌背后的地下水位就会逐渐升高,以致给隧道衬砌施加很大压力,故一般要“以排为主”。主要排水设施有衬砌内的纵横向排水沟,衬砌上的引水管(暗槽)或泄水孔,衬砌背后的纵横向盲沟和集水钻孔等。

除了长度在 100m 以下且常年干燥无水的隧道以外,一般的隧道都应设置排水沟,使渗漏到洞内的和从道床涌出的地下水,沿着带有流水坡的排水沟,顺着线路方向引出洞外。排水沟有两种形式:一种是侧式水沟,这种形式的水沟设在线路的两侧或一侧,视水流量大小而定。当为一侧时,应设在来水的一侧。如为曲线隧道,则应设在曲线内侧,双侧水沟隔一定距离应设一横向联络沟,以平衡不均匀的水流量。另一种是中心式水沟,隧道采用整体式道床时,水沟设在线路中线的下方,或设在双线隧道两线路之间,如图 7-9 所示。

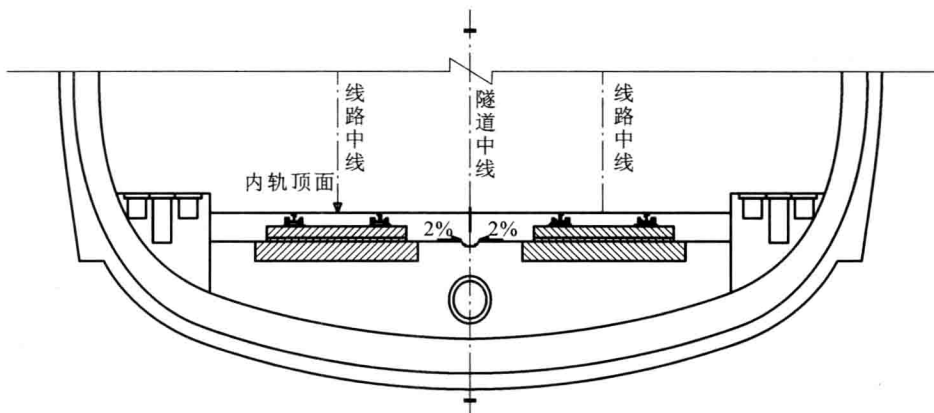


图 7-9 排水沟示意图

在衬砌背后,用片石或埋管设置环向或竖向盲沟,以汇集衬砌周围的地下水,并通过盲沟底部泄水孔(或预埋管)引入隧道侧沟排出。

##### ②防水。

防水是指衬砌防水,即防止地下水从衬砌背后渗入隧道内。其方法是充分利用混凝土结构的

自防水能力,采用防水混凝土结构,并在衬砌与支护之间设置防水层。防水层大致可归纳为两类,一类为粘贴式防水层,另一类为喷涂式防水层。

此外,还应注意衬砌各类缝隙(施工缝、沉降缝、伸缩缝等)的防水,如采用外贴止水带等方法。常见变形缝的几种复合防水构造形式如图 7-10 所示,亦可采用其他新型、成熟、可靠的防水构造形式。

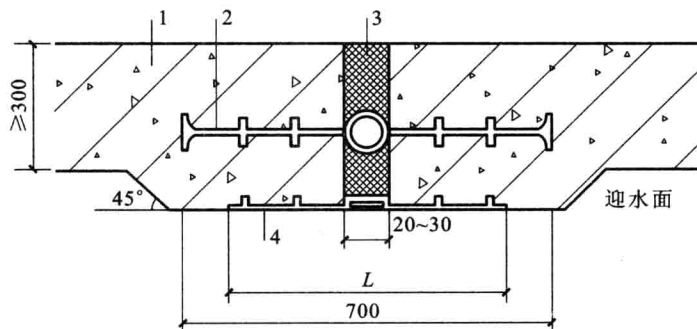


图 7-10 中埋式止水带与外贴式防水层复合防水构造

外贴式止水带  $L \geq 300$ ; 外贴式防水卷材  $L \geq 400$ ; 外涂防水涂层  $L \geq 400$

1—混凝土结构; 2—中埋式止水带; 3—填缝材料; 4—外贴防水层

### ③截水。

截水指截断地表水和地下水流入隧道的通路。

为防止地表水冲刷仰坡,流入隧道,一般应在洞口边仰坡上方设置天沟,但当地表横坡陡于  $1:0.75$  时可不设。天沟一般沿等高线向线路一侧或两侧排水,坡度根据地形设置,但应不小于  $3\%$ ,通过裂隙岩层的天沟可采取水泥砂浆抹面、勾缝等防止渗漏的措施。

泄水洞一般是在地下水特别发达、涌水地段较长且水压较高,用其他防排水措施难以收效时才采用。泄水洞应设在地下水上游一侧,与隧道方向平行或近似平行,使周围的地下水经由泄水洞的过滤孔眼流入泄水洞内排走以达到拦截排走地下水,防止地下水对隧道的危害。泄水洞一般应做衬砌,衬砌上应有足够的泄水孔以引入地下水。围岩中有细小颗粒容易流失时,应于衬砌背后设置反滤层。泄水洞洞口一般应设置洞门及出水口沟渠,如图 7-11 所示。

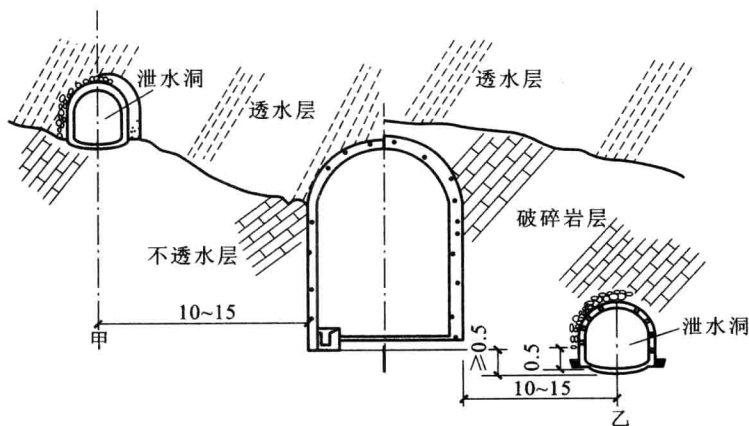


图 7-11 拦截地下水疏干地层泄水洞(单位:m)

### (2) 避车洞

隧道内避车洞有大避车洞和小避车洞,大避车洞、小避车洞应交错设置于两侧边墙内,大避车洞之间设置小避车洞,其间距和尺寸见表 7-1。

表 7-1

### 避车洞间距和尺寸

(单位:m)

名称	一侧间距		尺寸		
			宽	深	中心高
大避车洞	碎石道床	300	4.0	2.5	2.8
	混凝土宽枕道床或整体道床	420			
避车洞	碎石道床	60	2.0	1.0	2.2
	混凝土宽枕道床或整体道床				

注:双线隧道小避车洞每侧间距按 30m 设置。

为了使避车洞的位置明显,应将洞内全部及洞口周边 30cm 宽粉刷成白色。分别在洞的两侧 10m 处的边墙上标一白色箭头指向避车洞,如图 7-12 所示。

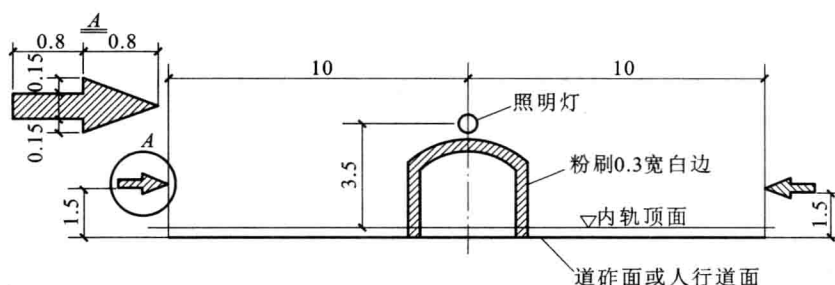


图 7-12 避车洞标志位置图(单位:m)

### (3) 电缆槽

当铁路通信、信号电缆通过隧道时,为了避免电缆被毁坏、腐蚀,以保证通信、信号线路的安全,应在隧道内设置电缆槽。通信、信号电缆可设在同一电缆槽内,也可以分设,但通信、信号电缆必须和电力电缆分槽铺设。如分槽铺设有困难时,电力电缆可沿隧道墙壁架设,但应有必要的防护措施。

电缆槽应设盖板,盖板顶面应与避车洞底面、水沟盖板顶面或道床顶面齐平。当电缆槽与水沟并行时,宜分设盖板。

#### (4)运营通风设施

列车通过隧道时,会排出大量烟尘及有害气体,同时还会散发出许多热量,此外,衬砌缝隙也不时渗透出某些天然地下有害气体和潮湿气体,再加上维修人员在工作时不断呼出  $\text{CO}_2$ ,这些因素使隧道内空气变得污浊、炽热和潮湿,时间一长,其浓度提高,就会使人呼吸困难,健康受到威胁,工作效率也随之降低,洞内线路也易被腐蚀。为此,必须进行洞内通风,将有害气体及热量等排出洞外,并把新鲜空气引入洞内。

运营隧道的通风有自然通风和机械通风两种:自然通风是利用洞内的天然风流和列车运行所引起的活塞风来达到通风的目的;机械通风是当自然通风不能满足要求时采用通风机械将洞内外气体进行交换来达到通风的目的。

### 7.2.3 隧道施工技术

隧道施工主要在开挖和支护两个关键工序上,即如何开挖才能更有利于洞室的稳定和便于支护;若需要支护时,如何支护才能更有效地保证洞室稳定便于开挖。因此,研究隧道施工方法就是

研究隧道的开挖与支护的施工程序及方法。

### 7.2.3.1 隧道施工方法的选择

隧道施工方法一般分为矿山法、掘进机法(Tunnel Boring Machine, TBM)、沉管法、明挖法等。对于隧道的施工方案的选择,应考虑以下几个方面的因素:

#### (1) 施工条件

施工条件包括一个施工队伍所具备的施工能力、素质以及管理水平,目前我国隧道施工队伍的素质和施工装备水平参差不齐,在选择施工方法时,应考虑这个因素的影响。

#### (2) 围岩条件

围岩条件包括围岩级别、地下水及工程地质现象等。围岩级别是对工程地质的综合判定,对施工方法的选择起着重要甚至决定性的作用。一般认为硬岩首先考虑全断面法开挖;软弱岩用正台阶法开挖;断层软弱带大断面可用中隔壁法(CD法)、中隔壁交叉临时仰拱法(CRD法)、眼镜工法等;稳定工作面可采用小导管超前注浆法。

#### (3) 埋深

埋深按照埋置深度可分为浅埋和深埋两类。在同样地质条件下,由于埋深的不同,施工方法也将有很大差异。通常在浅埋地段,尤其是存在偏压时可采用分部开挖法。

#### (4) 环境条件

当隧道施工对周围环境产生如爆破震动、地表下沉、噪声、地下水条件的变化等不良影响时,环境条件也应成为选择隧道施工方法的重要因素之一,在城市条件下,甚至会成为选择施工方法的决定性因素。

除此之外,还受到施工工期、工程投资与运营后的社会效益和经济效益、施工中动力和原材料供应情况、施工安全状况等因素的影响。

### 7.2.3.2 隧道施工方法分类

根据隧道穿越地层的不同情况和目前隧道施工方法的发展,隧道施工方法可按如图 7-13 所示方式分类:

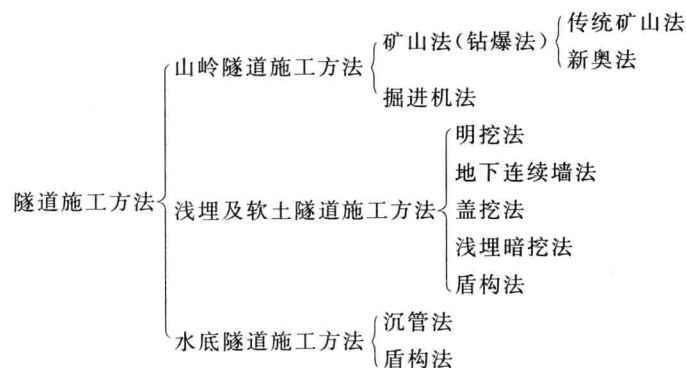


图 7-13 隧道施工方法

矿山法因最早应用于矿石开采而得名,它包括传统矿山法和新奥法,这种方法中多数情况下都需要采用钻眼爆破进行开挖,故又称为钻爆法。近年来由于施工机械的发展,传统矿山法已逐渐被新奥法所取代。

掘进机法包括隧道掘进机法(TBM)和盾构掘进机法,前者应用于岩石地层,后者则主要应用于土质围岩,尤其适用于软土、流沙、淤泥等特殊地层。

沉管法、明挖法等则是用来修建水底隧道、地下铁道、城市市政隧道以及埋深很浅的山岭隧道等。

山岭隧道施工的过程和方法是多种多样的,而建立在新奥法施工原则基础上的矿山法(钻爆法)仍然是我国目前应用最广、最成熟的隧道施工方法,常用的方法为全断面法、台阶法、中隔壁法(CD法),交叉中隔壁法(CRD法)、单侧壁导坑法、双侧壁导坑法等。

### 7.2.3.3 隧道开挖方法

隧道施工方法实际上指的是开挖成型方法。按开挖隧道的横断面分部情况来分,施工方法可分为全断面法、台阶法、分部开挖法及掘进机与盾构施工法。

#### (1) 全断面法

全断面法全称为“全断面一次开挖法”,即按隧道设计断面轮廓一次开挖成型的方法,如图 7-14 所示。该方法可以减少开挖对围岩的扰动次数,工序简单,便于组织大型机械化施工,施工速度快,防水处理简单。其缺点是对地质条件要求严格,围岩必须有足够的自稳能力,另外机械设备配套费用相对较大。

全断面法主要适用于 I ~ III 级围岩,采用全断面法施工,必须具备大型施工机械。隧道长度或施工区段长度不宜太短,一般不应小于 1km,否则采用大型机械化施工的经济性差。

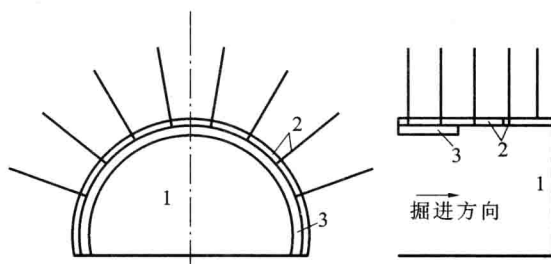


图 7-14 全断面施工方法

1—全断面开挖;2—锚喷支护;3—模筑混凝土

全断面法施工作业顺序为:

- ①施工准备完成后,用钻孔台车钻眼,然后装药,连接起爆网路;
- ②退出钻孔台车,引爆炸药,开挖出整个隧道断面;
- ③进行通风、洒水、排烟、降尘;
- ④排除危石,安设拱部锚杆和喷第一层混凝土;
- ⑤用装碴机将石碴装入矿车或运输机,运出洞外;
- ⑥安设边墙锚杆和喷混凝土;
- ⑦必要时可喷拱部第 2 层混凝土和隧道底部混凝土;
- ⑧开始下一轮循环;
- ⑨在初次支护变形稳定后,按施工组织中规定日期灌注内层衬砌。

根据围岩稳定程度及施工设计可不设锚杆或设短锚杆,也可先出砟,然后再施作初次支护,但一般应先进行拱部初次支护,以防止局部应力集中而造成的围岩松动剥落。

## (2) 台阶法

台阶法是适用性最广的施工方法,多适用于铁路双线隧道Ⅲ、Ⅳ级围岩,单线隧道Ⅴ级围岩亦可采用,但支护条件应予以加强。它将断面分成上半断面和下半断面两部分分别进行开挖。

根据台阶的长短,台阶法又包括为长台阶法、短台阶法和超短台阶法,如图 7-15 所示。

### ① 长台阶法。

长台阶法适用于在全断面开挖法中开挖面不能自稳,但围岩坚硬又不需要用仰拱闭合断面的情况。

台阶长度在 50m 以上,分为上、下半断面,每次以 100~150m 长度交替开挖和上、下半断面同时平行开挖两种情况。对于前者,上、下半断面的开挖、出碴全都在各自的开挖循环之内完成,上半断面完成后,作业人员、机械全部转移至下半断面,作业时比较单纯。对于后者,由于上半断面的石碴运出要通过下半断面,使下半断面的作业复杂化,但因上、下半断面是同时开挖,和前者相比可以缩短工期。在长度较短的隧道中也有上半断面开挖完后再开挖全长下半断面的上半断面先进法,也可视为长台阶法的一种。

长台阶法有足够的工作空间,上部开挖支护后,下部作业就较为安全,但上、下部作业相互之间有一定的干扰。相对于全断面法来说,长台阶法一次开挖的断面和高度都较小,只需配备中型钻孔台车即可施工,对维持开挖面的稳定也十分有利。

### ② 短台阶法。

如图 7-15(b)所示,短台阶法长度为 20~50m,可缩短支护结构闭合的时间,改善初次支护的受力条件,有利于控制隧道收敛速度和量值,所以适用范围很广,Ⅰ~Ⅴ级围岩都能采用,尤其运用于Ⅳ、Ⅴ级围岩,是新奥法施工中经常采用的方法。但这种方法由于上、下半断面的开挖面较接近,两个开挖面作业有干扰,而且存在上半断面出碴打乱开挖循环平衡的问题。上半断面的出碴可用斜坡道、皮带运输机、列车装载机等组合起来使用。

短台阶法的作业顺序和长台阶基本相同。

### ③ 超短台阶法。

如图 7-15(c)所示,这是一种适用于在软弱地层中开挖的施工方法,一般在膨胀性围岩及土质地层中采用。为了尽快形成初期闭合支护以稳定围岩,上、下台阶之间的距离进一步缩短,上台阶仅超前 3~5m,由于上台阶的工作场地小,只能将石碴堆到下台阶再运出,对下台阶会形成严重的干扰,故只能采用交替作业,因而施工进度会受到很大的影响。在软弱围岩中施工时,应特别注意开挖工作面的稳定性,必要时可对围岩进行预加固或预支护,如设置临时仰拱、向围岩中注浆或打入超前水平小导管等。

## (3) 分部开挖法

分部开挖法是将隧道断面分部开挖、逐步成型,且一般将某部超前开挖,故也可称为导坑超前开挖法。分部开挖法可分为以下 5 种:台阶分部开挖法、单侧壁导坑法、双侧壁导坑法、中隔壁法和交叉中隔壁法。

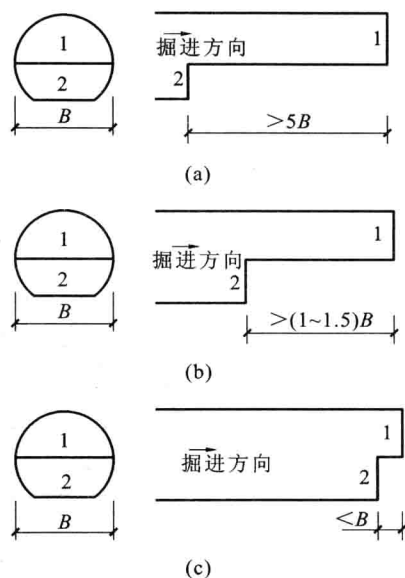


图 7-15 台阶施工方法

(a) 长台阶法; (b) 短台阶法; (c) 超短台阶法



### ①台阶分部开挖法。

台阶分部开挖法又称环形开挖留核心土法,适用于一般土质或易坍塌的软弱围岩地段。上部留核心土可以支挡开挖工作面,增强开挖工作面的稳定性,核心土及下部开挖在拱部初期支护下进行,施工安全性较好。上、下台阶可用单臂掘进机开挖,开挖和支护顺序如图 7-16 所示。

一般开挖面分部形式分为环形拱部、上部核心土、下部台阶三部分。

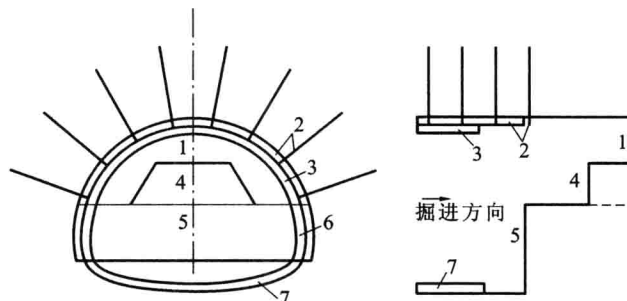


图 7-16 台阶分部开挖法

1—上弧形导坑开挖;2—拱部喷锚支护;3—拱部衬砌;4—中核开挖;5—下部开挖;  
6—边墙部喷锚支护及衬砌;7—灌注仰拱

### ②单侧壁导坑法。

单侧壁导坑法适用于围岩稳定性较差(如软弱松散围岩),隧道跨度较大,单侧壁导坑法一般将开挖断面分成三块:侧壁导坑、上台阶、下台阶,如图 7-17 所示。侧壁导坑尺寸应按照充分利用台阶的支撑作用的原则,并考虑机械设备和施工条件而定。

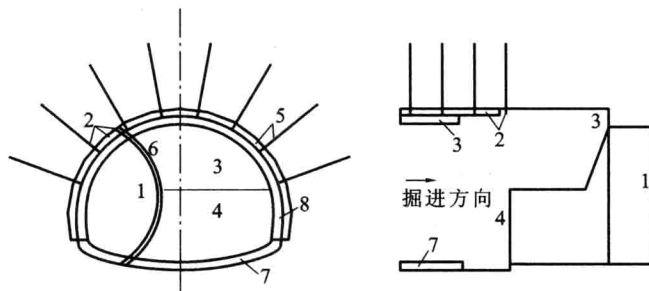


图 7-17 单侧壁导坑法

1—侧壁导坑开挖;2—侧壁导坑锚喷支护及设置中壁墙临时支撑;3—后行部分上台阶开挖;  
4—后行部分下台阶开挖;5—后行部分喷锚支护;6—拆除中壁墙;7—灌注仰拱;8—灌注洞周衬砌

### ③双侧壁导坑法。

双侧壁导坑法又称眼镜工法(图 7-18),采用先开挖隧道两侧导坑,及时施作导坑四周初期支护,必要时施作边墙衬砌,然后再根据地质条件、断面大小对剩余部分采用二台阶或三台阶开挖的方法,其实质是将大跨度的隧道变为三个小跨度的隧道进行开挖。该方法开挖断面分块多,扰动大,初次支护全断面闭合的时间长,施工进度较慢,成本较高,但施工安全,因此城市浅埋、软弱、大跨隧道和山岭软弱破碎、地下水发育的大跨隧道可优先选用双侧壁导坑法。

一般将开挖断面分成四块:左侧壁导坑、右侧壁导坑、上部核心土和下台阶。

### ④中隔壁法(CD法)。

CD法将隧道断面左右一分为二,施工时应沿一侧自上而下分为二部或三部进行,每开挖一部

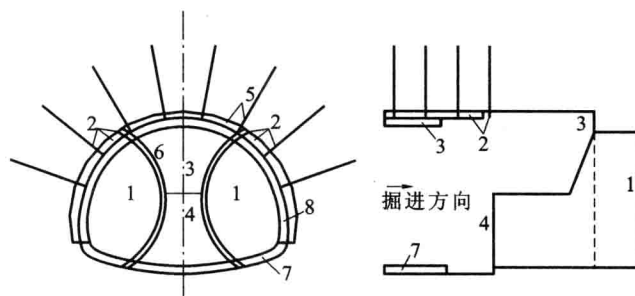


图 7-18 双侧壁导坑法

1—侧壁导坑开挖;2—侧壁导坑锚喷支护及设置中隔壁临时支撑;3—后行部分上台阶开挖;

4—后行部分下台阶开挖;5—后行部分喷锚支护;6—拆除中隔壁;7—灌注仰拱;8—灌注洞周衬砌

均应及时施作锚喷支护、安设刚架、施作中隔壁,底部应设临时仰拱,中隔壁墙依次分步连接而成,当先开挖一侧超前一定距离后,再开挖中隔壁的另一侧。

CD 法变大跨为小跨,使断面受力更合理,对减少沉降,保证隧道开挖安全、可靠具有良好效果。该法适用于较差地层,如采用人工或人工配合机械开挖的Ⅳ~Ⅴ级围岩的浅埋双线隧道和浅埋、偏压及洞口段。施工过程中,为保证初次支护稳定,除喷锚支护外,需增加型钢或钢格栅支撑,并采用超前大管棚、超前锚杆、超前注浆小导管、超前预注浆等一种或多种辅助措施进行超前加固,如图 7-19 所示。

由于地层软弱,断面较小,只能采用小型机械或人工开挖及运输作业,工序多,施工进度较慢。必要爆破时,应控制药量,避免损坏中隔壁。临时中隔壁型钢支撑规格应与初期支护所采用的一致。每步台阶长度可控制在 3~5m。

#### ⑤交叉中隔壁法(CRD 法)。

CRD 法的特点是各分部增设临时仰拱和两侧交叉开挖,每步封闭成环,且封闭时间短,可以抑制围岩变形,达到围岩沉降可控、初期支护安全稳定的目的。该法除喷锚支护及增设足够强度和刚度的型钢或钢格栅支撑外,还应采用多种辅助措施进行超前加固,如图 7-20 所示。施工大量实例资料的统计结果表明,CRD 法比 CD 法减少地表下沉近 50%,而 CD 法又优于双侧壁导坑法,但 CRD 法施工工序复杂、隔墙拆除困难、成本较高、进度较慢,一般适用于在第四纪地层中修建大断面地下结构物(如停车场),且地表下沉要求严格时才使用。

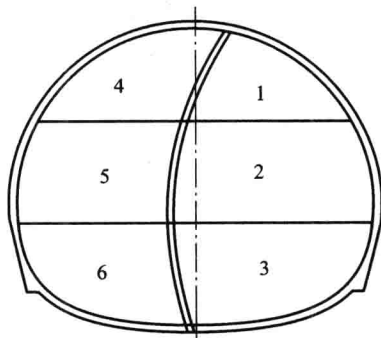


图 7-19 中隔壁法(CD 法)

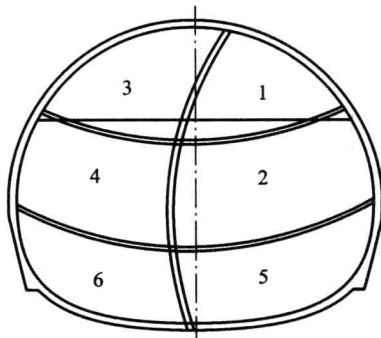


图 7-20 交叉中隔壁法(CRD 法)

#### (4)掘进机与盾构施工法

##### ①掘进机(TBM)法。

钻爆法与掘进机(TBM)法是当今世界上隧道开挖中两个行之有效的施工方法,两者各有所长,在不同范围内以及不同的条件下表现出各自的优势。

钻爆法施工适用范围广,不受隧道断面尺寸和形状的限制,对各类围岩均能适用,当地质条件变化时,施工工艺可机动灵活随之变化,施工设备的组装和工地之间的转移简单方便,重复利用率高,多年来已积累了丰富宝贵的施工经验,形成了科学完整的工艺。但它同时也存在施工工序多,施工过程中各工序干扰大,开挖速度低,超(欠)挖严重,爆破时对地层扰动大,施工安全性差,作业场所环境恶劣,工人劳动强度大等难以克服的缺点。此外,由于开挖速度低,在较长隧道施工时,往往需要采用辅助坑道来增加开挖工作面,从而增加了工程造价。

TBM 施工法的优点在于施工速度快,能缩短工期,但只从开挖的可能性来考虑,还不能确定能否采用。如果岩质相同,TBM 施工法没有超挖量,与钻爆施工法相比,周边围岩也不松弛,那么,即使需要支护,也只需轻型的即可,在减少衬砌混凝土量等费用方面也具有很大的优点。但地质条件不适合于 TBM 施工法时,即在破碎带、膨胀性围岩以及大涌水带等条件下,TBM 的掘进就比较困难,即使是最高性能的机械有时也会延误工期,这时可用钻爆法辅助做好该区段的开挖和通风,再用 TBM 法向硬岩掘进,所以钻爆法和 TBM 法可混合使用,互相取长补短。

全断面岩石隧道掘进机是目前使用最为广泛的掘进机。在我国隧道工程施工中,已成功使用过的全断面岩石隧道掘进机有单 T 形支撑开敞式、双 X 形支撑敞式、双护盾式。但也有失败的例子,如台湾的雪山隧道,应用双护盾 TBM 施工失败。

开敞式 TBM(图 7-21)软硬地层都适应,其转向控制灵活、对地层能及时支护,通过软岩地层采用先锚后喷或先喷后锚均可,并架设钢拱架的一次支护。该方法曾在磨沟岭砂页岩含水软弱地层中实现了日掘进快支护 41.3m 和月掘进快支护 574m 的快速施工水平,平均进尺 232m/月。

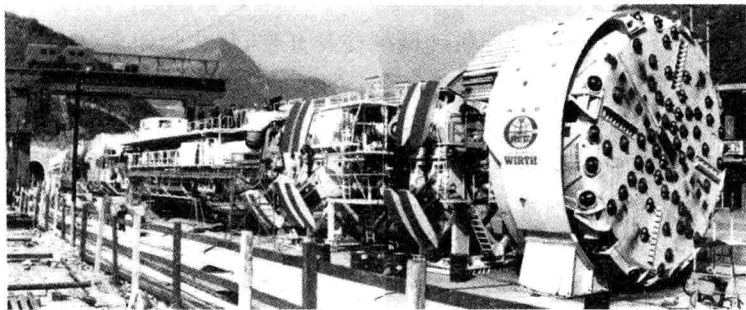


图 7-21 开敞式 TBM

## ②盾构施工法。

盾构施工法是软土隧道掘进施工的一种有效方法,在城市地下铁道、水底隧道以及土质隧道施工中已得到广泛应用。近十多年来盾构技术又有了飞跃发展,可适用于任何地层。

盾构法主要应用于软土、流沙、淤泥等特殊地层,实质上就是软土隧道掘进机,它既可能是机械开挖,也可能是人工开挖;它既是一种施工机具,又是一个强有力的临时支撑结构。在盾壳的保护下,既可进行开挖,又能进行衬砌。采用盾构施工,具有不影响地面交通,没有振动,对地面邻近建筑物危险较小,施工费用不受埋深影响等优点。在土质差、水位高的地方建设埋深较大的隧道,盾构法有较高的技术经济优越性。盾构示意图如图 7-22 所示。

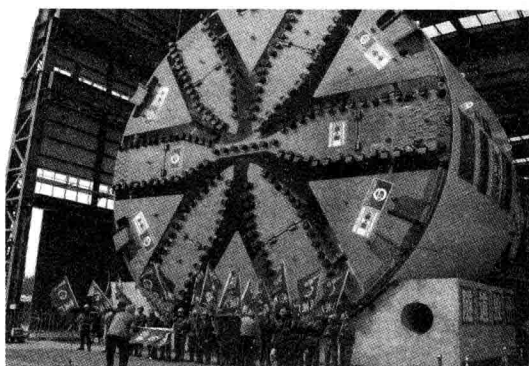


图 7-22 盾构示意图

#### 7.2.3.4 隧道施工辅助方法

##### ①超前锚杆支护。

超前锚杆是沿开挖轮廓线,以稍大的外插角,向开挖面前方安装锚杆,形成对前方围岩的预锚固,在提前形成的围岩锚固圈的保护下进行开挖等作业(图 7-23)。这类超前支护的柔性较大,整体刚度较小。虽然它们都可以与系统锚杆焊接以增强其整体性,但对于围岩应力较大时,其后期支护刚度就有些不足。因此此类超前支护主要适用于应力不太大、地下水较少的软弱破碎围岩的隧道工程中,如土砂质地层、弱膨胀性地层、流变性较小的地层、裂隙发育的岩体、断层破碎带及浅埋无显著偏压的隧道。

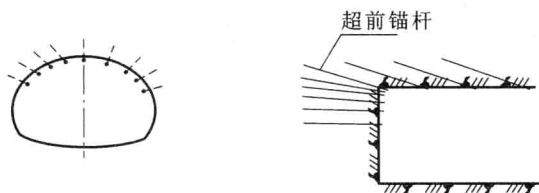


图 7-23 超前锚杆

##### ②管棚支护。

管棚是利用钢拱架,沿开挖轮廓线,以较小的外插角向开挖面前方打入钢管或钢插板构成的棚架来形成对开挖面前方围岩的预支护(图 7-24)。

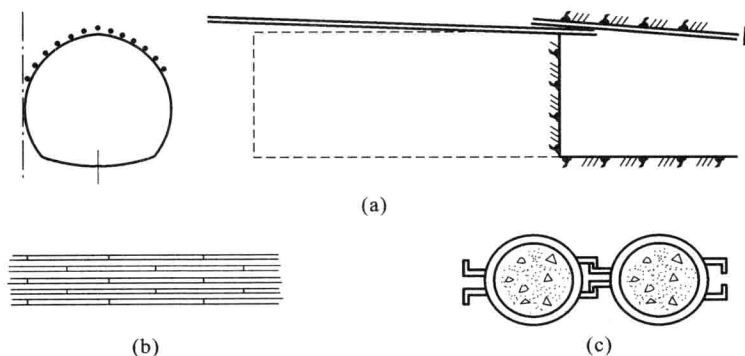


图 7-24 管棚支护

(a)管棚的环向布置;(b)管棚钢管纵向错接;(c)钢管端部横向连接

采用长度小于 10m 小钢管的称为短管棚；采用长度为 10~45m 且较粗钢管的称为长管棚；采用钢插板且长度小于 10m 的称为板棚。

管棚因采用钢管或钢插板作纵向预支撑，又采用钢拱架作环向支撑，其整体刚度加大，对围岩变形的限制能力较强，且能提前承受早期围岩压力。因此，管棚主要适用于围岩压力来得快、来得大，及用于对围岩变形及地表下沉有较严格限制要求的软弱破碎围岩隧道工程中。如土砂质地层、强膨胀性地层、强流变性地层、裂隙发育的岩体、断层破碎带、浅埋有显著偏压等围岩的隧道中。此外，在一般无胶结的土及砂质围岩中，采用插板封闭较为有效；在地下水较多时，则可利用钢管注浆堵水和加固围岩。

短管棚一次超前量少，基本上与开挖作业交替进行，占用循环时间较多，但长管棚一次超前量大，虽然增加了单次钻孔或打入长钢管的作业时间，但减少了安装钢管的次数，减少了与开挖作业之间的干扰。在长钢管的有效超前区段内，基本上可以进行连续开挖，也更适于采用大、中型机械进行大断面开挖。

### ③超前小导管注浆。

超前小导管注浆不仅适用于一般软弱破碎围岩，也适用于地下水丰富的软弱破碎围岩。浆液被压注到岩体裂隙中并硬化后，不仅将岩块或颗粒胶结为整体起到加固作用，而且填塞了裂隙，阻隔了地下水向坑道渗流的通道，起到了堵水作用。

## 7.2.3.5 隧道洞口和明洞施工

### ①洞口段施工方法。

洞口段是指隧道开挖可能给洞口地表造成不良影响(下沉、塌穴等)的洞口范围。因为每座隧道的地形、地质及线路位置不同，所以洞口段的范围都不尽相同。一般情况下，可将洞口浅埋段看作洞口段，如图 7-25 所示。

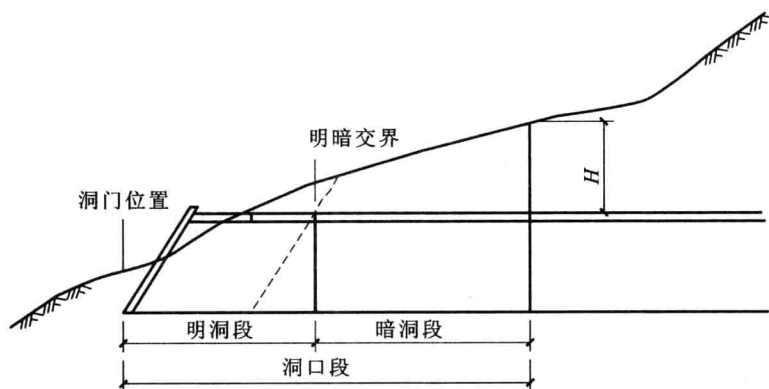


图 7-25 洞口段的一般范围

$H$ —深浅埋分界处覆盖层厚度，为 2~2.5 倍天然拱高度

隧道洞口地段，一般覆盖浅、地质条件差，且地表水汇集，施工难度较大。施工时要结合洞外场地和相邻工程的情况，全面考虑、妥善安排、及早施工，为隧道洞身施工创造条件。

隧道洞口工程主要包括边仰坡土石方、边仰坡防护、路堑挡护、洞门圬工、洞口排水系统、洞口检查设备安装和洞口段洞身衬砌等。洞门结构一般在暗洞施工一段以后再做，边仰坡防护应及时做好。

洞口段施工流程如图 7-26 所示。

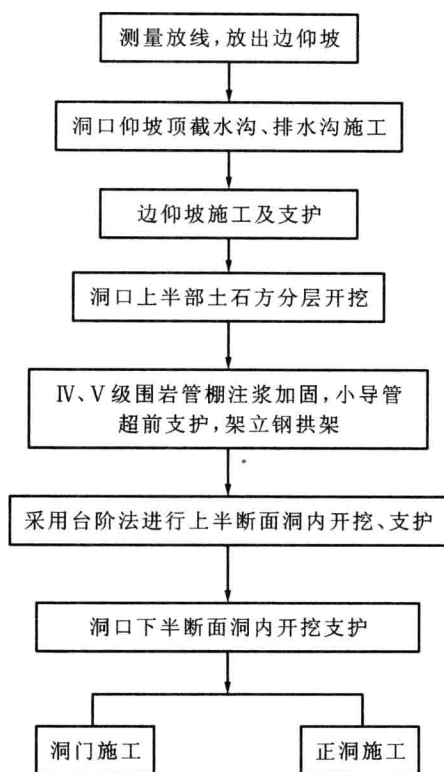


图 7-26 洞口段施工流程图

### ②明洞施工方法。

明挖法是软土地下工程施工中最基本、最常用的施工方法。明挖法施工是先将地表土层挖开一定的深度,形成基坑,然后在基坑内施工浇筑结构,完成结构施工后进行土方回填,最终完成隧道及地下工程施工。

明洞钢筋混凝土分两部分施工,首先施工边墙基础(盖板顶以下)仰拱钢筋混凝土部分、仰拱填充及铺底部分,然后利用模板台车施作拱、墙钢筋混凝土,施工中应注意保持背模平顺、牢固、可靠。

明洞防水层施工时应先将混凝土修凿平整,必要时局部用砂浆找平并去除外露钢筋头等杂物,以免损坏防水层,无纺布在现场逐幅铺设,为防止无纺布在回填过程中移位或翻卷应将其接缝用线缝合,搭接宽度为 10cm。

明洞拱背回填应自下而上对称回填,泄水管以下用浆砌片石回填,泄水管至起拱线为干砌片石回填,其中在泄水管口设纵向盲沟,采用砾石或碎石回填,起拱线以上为夯填碎石土,最上部为 50cm 厚黏土防水层。回填土采用人工分层回填,层厚不大于 20cm,用蛙式打夯机夯实。施工过程中严格保护防水层不被破坏。

明洞施工工艺流程如图 7-27 所示。

#### 7.2.3.6 初期支护施工工艺

##### ①施工流程。

初期支护施工工艺流程如图 7-28 所示。

##### ②喷射混凝土。

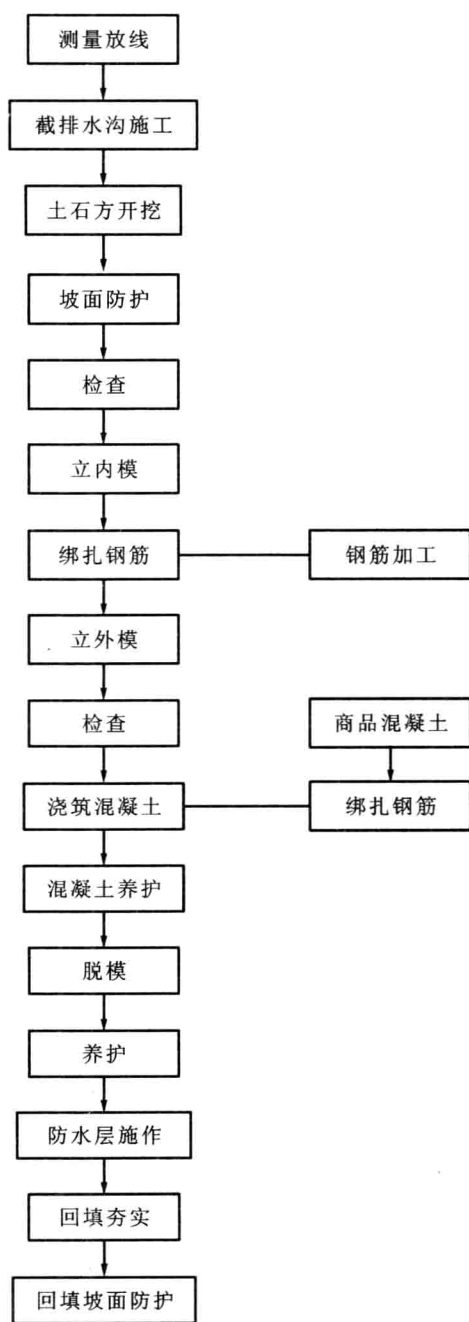


图 7-27 明洞施工工艺流程图

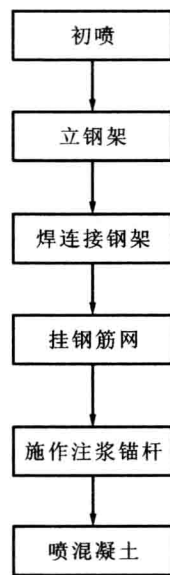


图 7-28 初期支护施工工艺流程图

开挖完后,立即进行混凝土初喷,初喷厚度为 5cm,待钢架或格栅(围岩破碎段)、钢筋网、注浆锚杆施作完成后进行混凝土复喷,复喷厚度达到设计要求。混凝土按设计一般采用 C20 混凝土或者钢纤维混凝土以及其他纤维类混凝土,喷射混凝土主要采用潮喷和湿喷两种方法。

喷料在洞外用强制式搅拌机拌和,运至作业面,经喷射机由人工喷射混凝土或机械喷射混凝土。先在开挖面上初喷混凝土 5cm,然后架设钢架、钢筋网、焊接钢架之间的连接拉杆、施工超前小管棚、复喷混凝土至设计厚度,最后施工锚杆。



## 7.2.3.7 衬砌施工工艺

目前隧道支护通常采用复合式衬砌,它由初期支护和二次衬砌组成,初期支护帮助围岩达成施工期间的初步稳定,二次衬砌则是提供安全储备或承受后期围岩压力。

混凝土二次衬砌施工时间根据现场监控量测结果来确定,在初期支护基本稳定,整体收敛值在规范允许范围内,围岩及初期支护变形率趋于减缓或稳定时再进行隧道二次衬砌,并将衬砌工作面与开挖工作面拉开 50~100m,以减少两工作面间的互相干扰,也可避免爆破震动效应对二次衬砌的影响。二次衬砌混凝土灌注采用洞外集中拌和、混凝土输送罐车运输、轨道自动行走、液压起臂整体模板衬砌台车、混凝土输送泵车灌注的方法进行,如图 7-29 所示。

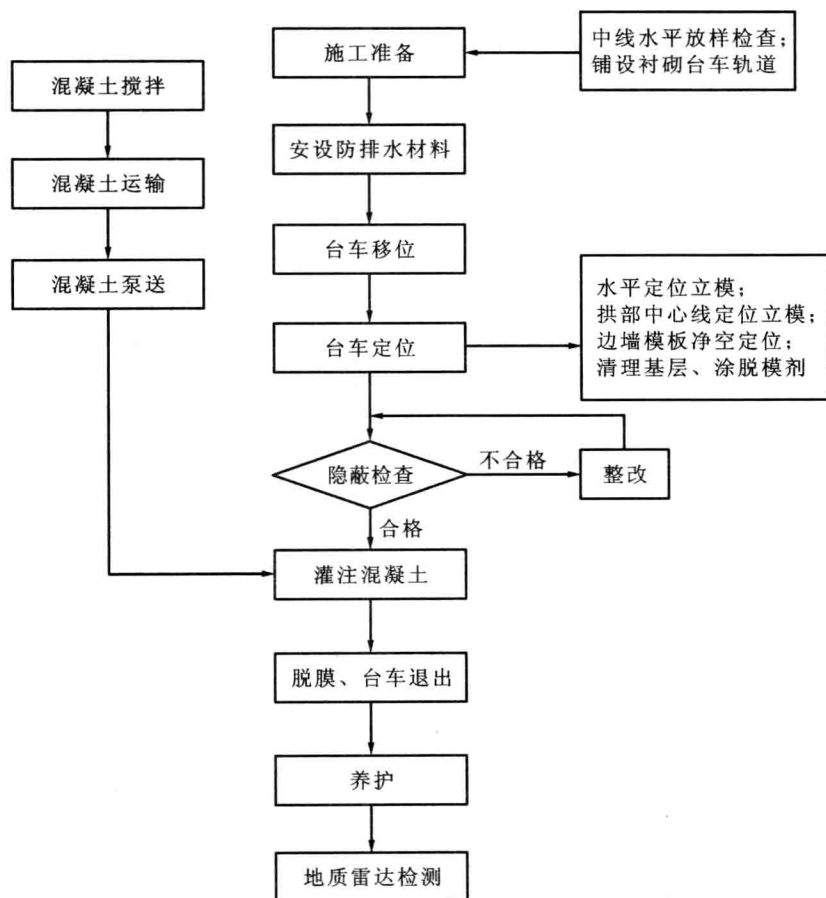


图 7-29 模筑混凝土衬砌施工工艺流程图

## 7.3 地下工程

地下工程是一个较为广阔的范畴,泛指修建在地面以下岩层或土层中的各种工程空间与设施,是地层中所建工程的总称,通常包括矿山井巷工程、城市地铁隧道工程、水工隧洞工程、交通山岭隧道工程、水电地下洞室工程、地下空间工程、军事国防工程、建筑基坑工程等。纵观漫长的历史可以发现,人类从来没有忽视过地下建筑空间的利用。在原始社会,人类为了躲避风雨和防备野兽侵袭,利用地下洞穴作为居所。随着人类自身的发展、社会生产力的提高和科学技术的进步,对地下

空间的利用经历了从自发到自觉的过程,从原始的“穴居”到突尼斯玛特玛塔的“地下村庄”,从中国西北下沉式“窑洞”到现在的“地下城市”,地下空间利用的深度及广度不断得到深化和发展。

### 7.3.1 地下工程的空间特性

地下空间的特点主要体现在地下环境的特殊性上。其特殊性主要有以下几个方面。

#### 7.3.1.1 地下空间的封闭性

在地下,很难接触到太阳光线、自然风等,自然灾害对其影响甚微。相对地表来说,人员活动较少,可以较好地从事某一特定活动,并且在地下从事生产或其他活动所带来的噪声、固体垃圾以及部分烟雾等对地表影响较弱。

针对封闭性这一特点,城市地下交通工程可以充分利用人员活动相对较少的特点,提高交通运输效率,地下车库和地下贮存室的建造避免了在地表上有自然风、太阳光线的影响干扰,降低了建造成本。在噪声、垃圾污染等方面,城市地下工业工程可以利用封闭性这一特点,一方面减弱对环境的直接影响;另一方面节省地上工业工程在这方面的处理成本,运营时间也不再受地表众多因素的影响。

#### 7.3.1.2 地下空间的热稳定性

与地表相比,地下空间虽无阳光的直接照射,但大地对温度的保持能力较强,使得地下空间具有较好的热稳定性。一年四季中,尤其在夏、冬季,地下空间与地表温度的差异性表现尤为明显。

城市地下居住工程可以很好地减小采暖和降温所消耗的能源,另外可方便地解决在某些特殊地理、地质、气候条件下的居住难问题(主要表现为温度方面);地下贮库工程在存放某些对温度保持要求比较严格的材料时也可以较好地利用热稳定性这一特点,减少在地表上建设同样工程所消耗的温度保持方面的建设投资成本;某些工业生产环境对温度要求较高(主要为保持恒温),地下工业工程可以解决这方面的问题,同样可以减少生产成本。

#### 7.3.1.3 地下空间的特有防护性能

地下空间的特有防护性能是个相对笼统的概念,具体体现在防自然腐蚀及灾害、防震性、抗电磁干扰、防辐射等方面。与地表相比,地下空间因免受太阳光线、自然风以及其他自然灾害的直接影响,腐蚀的范围大幅度减小,特有的土壤屏蔽,在电磁干扰及辐射方面,大大削弱了消极作用。

城市地下市政管线工程充分利用地下空间抗腐蚀及自然灾害的特点,延长了设施的寿命,减少维修次数过多带来的经济投入。在地下修建贮库工程,充分利用地下空间的特有防护性能在贮存粮食及燃油等物品时,严格控制防潮、虫害及自然灾害所带来的突发损失,提高物品贮存的安全可靠性。

#### 7.3.1.4 地下空间的无限性

相对于地表工程的各种复杂性,地下工程的类型是有限的,这就导致在大空间里建筑小工程,侧面反映地下空间的无限性。如果对空间加以有效长远的规划,其无限性更能突显出来。

城市地下市政管线工程相对来讲是错综复杂的,但在铺设输水管道、输气管道以及通信设施时,如果互相独立,将大大浪费地下空间,这就需要有效地规划,使地下市政工程做得分布有致、互不干扰,减少不必要的投资。

#### 7.3.1.5 内部环境的易控性

由于地下空间与外部环境处于相对隔绝的状态,其内部环境如热环境、光环境、声环境、空气清

洁度等,完全由人工控制。这些环境因素受外部环境的干扰小,故此内部环境较易控制并且较易达到所要求的标准。

对于城市中各类对内部环境有较高要求的设施,如各种电视、电影的演播、录音室、医院的手术室、无菌室及高科技企业中的无污染厂房等,利用地下空间内部环境的易控性,将其建于地下较建于地面更为经济合理。

#### 7.3.1.6 地下空间在国防方面的综合优势

地下空间因具有上述优点,对国防建设具有重大意义。城市地下人防工程在抗灾、救灾时的主要生命线的地位,以及战争时的物资、人员的保护,都是充分利用了地下空间所具有的优点。

除了以上特点外,地下空间在环境上有许多阻碍其开发利用的特性,如恒湿性、气密性等,表现出地下空间的潮湿、通风不畅等不利的一面,同时地下空间结构具有不易开拓性。

地下工程的建设需紧密结合地下空间的特点,使其作用达到最大程度的发挥。

### 7.3.2 地下工程的利用形态

地下工程的利用形态是多种多样的,归纳起来大致有以下 5 种。

① 为人类生存确保安全的:生活设施、地下储藏设施;

② 伴随城市的现代化发展而利用地下空间的:地下街、地下停车场、地下铁道、市政地下管道、能源供给设施、上下水道设施;

③ 伴随科学技术的发展而利用地下空间的:地下生产工厂、地下水力发电、原子能发电站、废弃物地下处理设施;

④ 大规模国土的有效利用:铁路隧道、公路隧道、海峡通道工程;

⑤ 防御和减少灾害的地下设施:灾害及防灾设施、防护建筑、储备设施、防洪地下坝、地下河等。

### 7.3.3 我国地下空间利用的现状和问题

随着我国城市化进程的加快,出现了城市人口剧增、空间拥挤、交通瘫痪、空气污染、绿地减少等诸多问题,在北京、上海等大城市表现得更加突出。

据有关资料调查,到 2020 年我国的人均可耕地面积仅为 1.2 亩,不到世界平均数的 1/3。目前上海浦西区的人口密度为 3.7 万人/平方千米,北京和广州城区的人口密度分别为 1.4 万人/平方千米和 1.3 万人/平方千米。而目前世界主要大城市如东京都只有 1.3 万人/平方千米,其余城市如纽约、伦敦、巴黎和香港的人口密度最多也只有 8500 人/平方千米。如此大的城市人口密度必然会给城市的可持续发展带来挑战。与国外发达国家大城市相比,交通阻塞、行车速度缓慢等问题显得更为严重。上海每千米道路的汽车拥有量为 506 辆,北京每千米道路的汽车拥有量为 345 辆,为发达国家大城市相应拥有量的数倍。

因此,要解决上述问题,建设 21 世纪的生态可持续发展城市,开发地下建筑空间对我国来说具有更加重要的意义。

#### 7.3.3.1 现状及发展

我国较大规模地开发利用城市地下空间始于 20 世纪 60 年代后期,我国已相继建成了上海人民广场地下商城、上海徐家汇地下商业街、北京西单地下商城等一批工程。同时,地下交通设施也有了很大的发展,北京、上海、广州、天津已建成多条地铁。

目前,各大城市都在规划建设大型的地下建筑综合体,以拓展城市空间容量,解决城市面临的诸多问题。

①成都天府广场的“地下宫殿”。成都市天府广场的地下已建成集商业、娱乐、地铁交通、停车场等于一体的“地下宫殿”。“地下宫殿”设为4层空间,第1层是公共交通集散空间、车行交通空间、商业以及展览扩展空间;第2层是展览扩展空间和商业空间、交通集散场所;第3层是地铁1号线的站台及轨道;第4层是地铁2号线的站台及轨道,各层间用阶梯、扶梯等连接。“地下宫殿”主要发挥交通集散功能,同时设置大型地下商场、地下超市等服务设施。

②杭州将建地下城,占地面积相当于600个足球场。杭州是个历史悠久和人文沉淀丰厚的城市,地下城的规划将本着尊重历史传统、面向未来的开发原则,集中展示现代杭州的人文精神和生态意识。地下城共分为3层,浅层(地下3~10m)将构筑大型商场,文化娱乐,旅游观光,商业步行街,停车场,高层建筑的附属设施,防空地下室,城市水、电、气、通信等市政公用设施;中层(地下10~30m)将构建地下轨道交通、地下公路隧道、变电站、仓储等;深层(30m以下)将建地铁快速交通线路、特殊危险品仓库、水库及城市设施更新等。

③王府井要建“大地宫”,地下空间达 $6.0 \times 10^5 \text{ m}^2$ 。根据地下空间使用功能,可分为地下轨道交通空间、市政设施空间、公共建筑空间等。大型建筑均设有地下室,可分为停车、商业娱乐餐饮、仓储等几大类。根据规划,王府井商业区周边的道路均有地铁通过,分别是地铁1号线、地铁5号线、地铁8号线等。

④南京鼓楼广场的地下开发。鼓楼广场地下广场将结合地铁出口,开发停车场和商业空间,据预测,仅地下部分可开发利用的空间就达 $5.0 \times 10^5 \text{ m}^2$ 以上。到时就会有 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^2$ 的绿地用于改善该地区的人居环境。

⑤中关村西区高科技商务中心区将建成国内最大的地下商业交通网。据介绍,中关村西区总占地面积为 $5.144 \times 10^5 \text{ m}^2$ ,是国务院批复的中关村科技园区中心区的核心地带,地上规划建筑面积约为 $1.0 \times 10^6 \text{ m}^2$ ,地下规划建筑面积约为 $5.0 \times 10^5 \text{ m}^2$ 。地下建筑共分3层,其中地下1层为商业服务区,包括商场、娱乐等设施;地下2~3层为停车场和机动车道路。考虑到地上的绿化问题,该工程在设计时已经把公交、轻轨等公共设施规划在地下,加上西区各楼之间地下都有车道相连,由此形成一个城中之城。

### 7.3.3.2 存在的问题

2001年,我国北京、上海、深圳等大城市的人均GDP突破3000美元,已达到世界上其他国家大规模开发地下空间的水平。而对即将来临的大规模地下空间开发,对已建成的地下建筑空间进行综合的考察,对地下空间的规划、空间环境设计存在的问题进行研究显得格外重要。

我国城市地下建筑空间主要存在以下一些问题:

#### (1) 缺乏长期、综合规划

国外大城市的地下空间开发,一般是结合城市交通和基础设施的改造起步,而我国由于历史原因,城市地下开发的主体则始于人防工程建设,形成了相对独立的体系,并且之前一直没有纳入城市的总体规划。这就造成了缺乏统一的规划,在功能上比较单一,其形态呈分散、点状和浅层的布局特点等一系列问题,未能在城市发展中起到应有的作用。地下交通的发展滞后,使目前的开发呈现出短期效应。地下基础设施的不足将严重阻碍地下空间的开发利用。

#### (2) 空间环境差、缺乏人性化设计

##### ① 外部空间形象。

外部空间形象单调,不具艺术魅力。外观缺乏统一的形象、出入口不明显、地上显现物布置分散等,不利于人们识别和对空间内部布局的整体把握。从外部空间进入地下空间时,缺乏过渡空间的处理,没有很好地考虑到人的心理因素,加剧了人们的恐惧心理。

#### ②内部空间环境。

多数地下人防空间尺度小且封闭、通风差、自然光线不足、湿度大、空气污浊、环境恶劣,不适宜人们长期工作与生活。内部空间的尺度不人性,可识别性差,缺少与外界的联系,从而极易使人迷失方向,造成人们的情绪不稳定和恐惧。

### 7.3.4 国外城市地下空间利用的现状

城市地下空间的开发利用成就比较高的是欧洲、北美、日本等发达工业国家。

因气候、地理、地质等自然因素及制度、社会形态等社会因素的不同,三者又各有特点和优势。

#### 7.3.4.1 欧洲:重视城市地面环境

欧洲是最早对地下空间进行开发利用的。从1863年英国伦敦的第一条地下铁道到英吉利海峡隧道,欧洲国家对地下空间的开发水平一直处在世界前列。

英国、法国、德国等利用地下空间的目的是为了保护环境、保护城市景观等。产业革命之后,各国城市面貌大变。此间,环保意识自古就很强的欧洲在城市开发的同时还注重对历史性建筑和城市景观的保护。因此,欧洲各国建设城市基础设施的基本原则是将有碍城市景观的设施建在地下。如1863年世界上最先运营的伦敦地铁,被称为近代下水道鼻祖的伦敦下水道,以及始建于1832年,现在普及率达100%的巴黎下水道等。现在,巴黎、伦敦、柏林等主要城市的地理电缆已接近100%。

第二次世界大战以后,欧洲许多国家在重建和改建过程中,发展了快速道路系统和快速有轨交通,特别是在城市中心区,进行了立体化开发,发展了多种类型的地下空间,形成了大型地下综合体。欧洲城市中心的综合开发,往往是系统的、长远的解决问题的方式,同时也是高投入的。它的特点是规模大,内容多,水平、垂直方向上的布置也比较复杂。它把市中心的许多功能(特别是交通)转入地下,而在地面实行步行化,并充分绿化,这不仅扩大了城市空间容量,而且美化了城市环境,疏导了交通。例如,巴黎的卢浮宫是地下街、地铁、娱乐设施、地下道路、地下停车场等的综合体,是为保护地上历史环境和建筑物景观而建造于地下的代表性设施。

又如,20世纪80年代中期法国巴黎市中心区的列阿莱(Les Halles)地区再开发,是迄今为止城市中心再开发中地下空间规模最大的一个实例。处于历史文化名城中心的列阿莱地区,面对棘手的保存传统与现代化改造相互统一的问题,通过地上、地下立体化再开发,改变了原来的单一功能,实现了交通的立体化和现代化,充分发挥了地下空间在扩大环境容量和提高环境质量方面的积极作用,使环境容量扩大7~8倍,并且这个扩大不以增加容积率而取得;相反,竟然在城市中心的塞纳河畔开辟出一处难得的文化休闲广场,以绿化和步行为主。广场地下1~2层是购物中心、体育馆、游泳池、音乐厅、剧场、图书馆、热带植物馆和海洋馆等文化娱乐设施,地铁在地下第4层,地下3层是高速公路、车站大厅和可容纳1850辆汽车的停车场。广场西侧设一个面积为3000m<sup>2</sup>、深13.5m的下沉广场,通过宽敞的台阶和自动扶梯,沟通了地面和地下空间,实现了交通立体化。

#### 7.3.4.2 北美:形成城市地下网络

北美利用地下空间是出于克服恶劣气候、创造舒适生活环境、节省能源等的目的。在加拿大蒙

特利尔和多伦多、美国休斯敦将地下街、地铁车站、地下人行道连接成了网络。蒙特利尔市为了推行建造地下人行道网络,官方向民间征收低额的地下道路使用费,再将收来的费用用于地下通道的建造、设施管理、安全管理等,当地下网络规划中涉及私有地开发时,一般允许在私有建筑物府下设置公共道路,作为补偿,法律允许可适当增加该地块的容积率。

北美蒙特利尔市以它对城市地下空间的成功利用著称于世,号称拥有全球规模最大的地下城。在这里,从地铁站延伸出的无数通道将地铁、郊区铁路、公共汽车路线、地下步行道与大量的混合型开发连为一个庞大的网络。据统计,蒙特利尔地下城长达 30km,被连接起来的 60 多个建筑群的建筑面积达到了  $3.6 \times 10^6 \text{ m}^2$ 。近 2000 家店铺通过这种方式连为一体,其中包括小商店、大型百货商店、餐馆、电影院、剧院、展览厅等;此外,还有可停放 1 万辆汽车的停车场。每天通过这一地下网络的人数超过 50 万。

蒙特利尔整个地下网络距地面相对较近,地铁站与其他地下建筑联系紧密,地下建筑与地上部分之间的联系也因此增强。同时,地下各部分之间的相互联系性也极强,达到了其他城市的类似开发所无法企及的程度。如巴黎的拉德方斯、列阿莱纽约的洛克菲勒中心以及东京山手线周围,地下城均显示出节点式开发特征。而在蒙特利尔,CBD 的地下城四通八达,地下系统与地面城市活动几乎融合。在寒冷的冬季,人们甚至用不着走出地下城,就能方便快捷地到达他想去的地方。

#### 7.3.4.3 日本:缓解城市用地紧张

日本的地下空间开发则比较典型的缓解城市用地紧张的代表。

日本地域狭长,四面临海,是多山群岛之国,平原较少,只占总面积的 25%,耕地面积仅占 12.9%。全国 80% 的人口密集地分布在中部和太平洋沿岸狭长窄小的平原地区。尤其大中城市人口十分拥挤,仅东京、大阪、横滨、名古屋四大城市的人口,就约占总人口的 20%。近代以来,日本从本国的自然条件出发,特别是随着工业化、城市化的发展,把开发利用城市地下空间作为保护土地资源、维持生态平衡的一项重要手段。

从 20 世纪 20 年代到 30 年代,日本对地下空间的利用逐步扩展到解决城市交通拥挤问题。1927 年东京都地铁开通营运 2.2km;1937 年大阪市地铁开通营运 3.1km。第二次世界大战后,日本经济得到迅速地复苏。从 20 世纪 50 年代开始,除东京、大阪市外,先后有名古屋、神户、札幌、杨滨、京都、福冈、仙台等大城市相继开始地铁的建设,并且带动了地下街、地下停车场等其他地下市政设施的建设。20 世纪 60 年代到 70 年代中期,日本大力推进地下街的建设,10 多年间,共建成地下街 49 处,面积约  $6.0 \times 10^5 \text{ m}^2$ 。目前,日本城市地下空间利用已经形成较大规模。东京、横滨、大阪、名古屋等 8 个城市的地铁营业里程达 500 余千米;各大、中城市建有地下街 82 处,面积约  $1.10 \times 10^6 \text{ m}^2$ 。地下机动车停车场 150 所,占停车场总数的 43%,可停车 30000 台,占总数的 50%。49 个城市建有地下共同沟,总长度突破 300km。随着日本土地资源的高度利用和城市化的发展,计划转入地下的各类设施还在不断增加。

### 本章小结

(1)隧道的结构包括主体构筑物和附属构筑物两部分。主体构筑物由洞身衬砌和洞门构筑物组成,附属构筑物包括防排水设施、避车洞、电缆槽、长大隧道的通风和照明设施以及在电气化铁路上根据情况而设定的有关附属设施等。

(2)隧道常用的衬砌结构类型有:单层衬砌(整体式模筑混凝土、喷锚永久衬砌或砌体衬砌)、复



合式衬砌、装配式衬砌等。

(3) 洞门结构的形式主要有端墙式、翼墙式、柱式、台阶式等几种墙式洞门。

(4) 隧道施工方法一般分为矿山法、掘进机(TBM)法、沉管法、明挖法等。

(5) 隧道施工方法实际上指的是开挖成型方法。按开挖隧道的横断面分部情况来分,施工方法可分为全断面法、台阶法、分部开挖法、掘进机及盾构施工法。全断面法主要适用于Ⅰ~Ⅲ级围岩,采用全断面法施工,必须具备大型施工机械。台阶法是适用性最广的施工方法,多适用于铁路双线隧道Ⅲ、Ⅳ级围岩,单线隧道Ⅴ级围岩亦可采用。

(6) 分部开挖法可分为5种变化方案:台阶分部开挖法、单侧壁导坑法、双侧壁导坑法、中隔壁法和交叉中隔壁法。台阶分部开挖法适用于一般土质或易坍塌的软弱围岩地段。单侧壁导坑法适用于围岩稳定性较差(如软弱松散围岩),隧道跨度较大地段。双侧壁导坑法在城市浅埋、软弱、大跨隧道和山岭软弱破碎、地下水发育的大跨隧道可优先选用此法。

(7) 超前锚杆是沿开挖轮廓线,以稍大的外插角,向开挖面前方安装锚杆,形成对前方围岩的预锚固,在提前形成的围岩锚固圈的保护下进行开挖等作业。

(8) 隧道洞口工程主要包括边仰坡土石方、边仰坡防护、路堑挡护、洞门圬工、洞口排水系统、洞口检查设备安装和洞口段洞身衬砌等。

(9) 隧道支护通常采用复合式衬砌,它由初期支护和二次衬砌组成,初期支护帮助围岩达成施工期间的初步稳定,二次衬砌则是提供安全储备或承受后期围岩压力。

### 独立思考

- 7-1 简述开发地下空间的意义。
- 7-2 隧道的洞身衬砌有哪些类型?各用于什么情况?
- 7-3 隧道的洞门有哪些形式?高速铁路隧道门的发展趋势是什么?
- 7-4 什么叫明洞?明洞一般用于什么情况?
- 7-5 隧道的附属构筑物有哪些?
- 7-6 简述全断面法、台阶法、分部开挖法的优缺点及适用条件。
- 7-7 隧道施工方法有哪些?
- 7-8 隧道施工常见的辅助方法有哪些?
- 7-9 地下工程有何特点?
- 7-10 地下工程的利用形态有哪些?
- 7-11 地下空间利用的前景如何?

### 参考文献

- [1] 关宝树.隧道工程施工要点集.北京:人民交通出版社,2011.
- [2] 叶志明.土木工程概论.北京:高等教育出版社,2010.
- [3] 刘伯权.土木工程概论.北京:科学出版社,2009.
- [4] 朱永全.隧道工程.北京:中国铁道出版社,2007.
- [5] 郑刚.地下工程.北京:机械工业出版社,2011.



## 8 铁道工程

### 【内容提要】

本章主要内容为铁路工程的发展、组成及设计,高速铁路的概念、特征、优势及发展,城市轨道交通的基本概念、主要技术特征及主要类型等。本章的教学重点为铁路的组成、高速铁路的概念及城市轨道交通的类型;教学难点为城市轨道交通的类型。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应了解高速铁路的概念、特征及优势;掌握铁路工程的组成及设计,城市轨道交通的类型。

在我国已有的现代化民用运输方式(铁路、公路、水运、航空和管道)中,铁路运输能力大、运输成本低,是中长距离客货运输的主力,在地区间进行物资交流和大宗货物运输中具有明显的优势,是我国陆上运输的骨干。公路运输机动灵活,是短途运输的主力,广泛用于广大城乡集散客货的运输中。水运投资省、运力大、成本低、能耗少,沿海和内河水位应当充分利用。管道运输投资省、运力大、建设周期短、占地极少,是输送油、气的最佳运输方式。航空运输速度快、运达快,但能耗大、成本高、运力有限,主要担负中长距离高级客流和贵重货物的快速运输任务。

交通运输是国民经济的基础设施,制约着国民经济发展的规模和速度。发展综合运输体系要符合我国的国情民情,因为铁路安全可靠,运输能力大,基本不受气候条件影响,速度较水运快,成本较航空低,环境污染较公路小,所以在现代化运输体系中,应以铁路为重点。

## 8.1 概 述

### 8.1.1 铁路工程的发展概况

#### 8.1.1.1 我国铁路事业的发展

新中国成立 60 多年来,我国铁路现代化建设取得了重大进展,高速铁路、机车车辆、高原铁路、既有线提速等技术已迈入世界先进行列,中国铁路以占世界铁路 6% 的营业里程完成了世界铁路 25% 的工作量,运输效率世界第一,为经济社会发展作出了重要贡献。

长期以来,我国铁路运力与需求的矛盾非常突出,成为经济社会发展的“瓶颈”,解决这一矛盾的根本出路在于加快新线建设,但新线建设周期较长,而通过实施既有线改造来提高列车速度,增加运输密度是短时间内扩充运输能力最有效的办法。六次大提速正是在这种背景下实施的,以较小的代价和较短的时间带来了运输能力的迅速提高,仅第五次和第六次大提速,运输能力就提高了 50% 以上。按照目前世界上对高速铁路的界定,当时我国就已经进入高速铁路时代。

高速行车是铁路现代化的重要标志,高速铁路是一个具有国际性和时代性的概念。1970 年 5 月,日本在第 71 号法律《全国新干线铁路整備法》中规定:“列车在主要区间能以 200km/h 以上速

度运行的干线铁道称为高速铁路。”这是世界上第一个以国家法律条文的形式给高速铁路下的定义。1985年5月,联合国欧洲经济委员会将高速铁路的列车最高运行速度规定为:客运专线300km/h,客货混线250km/h。1986年1月,国际铁路联盟秘书长勃莱认为,高速列车最高运行速度至少应达到200km/h。因此,国际上目前列车最高运行速度达到200km/h及其以上的铁路为高速铁路;最高速度在140~160km/h时为快速铁路;最高速度为120km/h时为常速铁路。我国把新建最高运行速度达到250km/h和改建或增建二线最高行车速度达到200km/h的铁路称为高速铁路,其中包括一次建成的客运专线铁路(如武汉至广州、郑州至西安客运专线),以及前期按客货共线、远期转为客运专线的铁路(如石家庄至太原、合肥至武汉、宁波至温州、温州至福州、福州至厦门、厦门至深圳客运专线等)。另外把设计速度目标值为200km/h及以上、短距离城市之间连接的客运专线铁路称为城际铁路(如北京至天津、广州至珠海、南京至合肥城际铁路等)。

#### 8.1.1.2 我国铁路的发展前景

目前,我国投入运营的高速铁路已达到6552营业千米,其中,新建时速250~350km/h的高速铁路有3676营业千米,既有线提速达到时速200~250km/h的高速铁路有2876营业千米,我国高速铁路运营里程居世界第一位,正在建设之中的高速铁路有1万多千米。截至2012年,我国铁路营业里程已达到 $1.1 \times 10^5$  km以上,其中新建高速铁路达到 $1.3 \times 10^4$  km。

我国高速铁路发展规划是2004年经国务院批准的《中长期铁路网规划》确定的。《中长期铁路网规划》提出,到2020年,全国铁路营业里程将达到 $1.0 \times 10^5$  km,建设客运专线将达到 $1.2 \times 10^4$  km以上。2008年,国务院根据我国综合交通体系建设的需要,对《中长期铁路网规划》进行了调整,确定到2020年,全国铁路营业里程达到 $1.2 \times 10^5$  km以上,建设客运专线 $1.6 \times 10^4$ 以上。其中规划了“四纵四横”铁路快速客运通道以及三个城际快速客运系统,客车速度目标值达到每小时200km及以上。另外,胶(青岛)济(南)、郑(州)徐(州)、浙(杭州)赣(南昌)、武(汉)九(江)、兰(州)青(西宁)、青藏线西(宁)格(尔木)段等既有线提速改造及增建二线项目和新建太(原)中(卫)银(川)、沪(上海)通(南通)、龙(岩)厦(门)等铁路的客车速度目标值也达到或超过200km。可见,今后几年时间,我国的路网规模和路网质量都将上升到一个新的台阶,铁路将基本实现现代化,主要干线实现客货分线,贯通东、西、南、北、中的区际干线网全面建成,铁路营业里程将达到 $1.2 \times 10^5$  km以上,其中,客运专线将达到 $1.8 \times 10^5$  km,我国主要城市密集地区将建成城际铁路网,运输能力总体适应国民经济和社会发展需要,人民群众梦寐以求的“人便其行、货畅其流”的愿望将真正变成现实。

### 8.1.2 铁路工程的组成

铁路线路是由路基、桥隧建筑物和轨道组成的一个整体工程。铁路线路在空间的位置是用它的中心线表示的。线路中心线在水平面的投影叫做线路平面,它表明线路的直、曲变化状态。直线和曲线是线路平面的组成要素。曲线又由圆曲线和缓和曲线组成。线路中心线纵向展直后在铅垂面上的投影,叫线路纵断面。它表明线路的起伏变化情况,其高程称为路肩高程。为适应地面的起伏,线路上除了平道以外,还修成不同的坡道,因此平道与坡道就是线路纵断面的组成要素。

#### 8.1.2.1 铁路路基

##### (1) 路基工程的组成

铁路路基是铁路线路的重要组成部分。它与桥梁、隧道相连,共同组成一个线路整体。路基工

程主要由三部分建筑物构成,如图 8-1 所示。

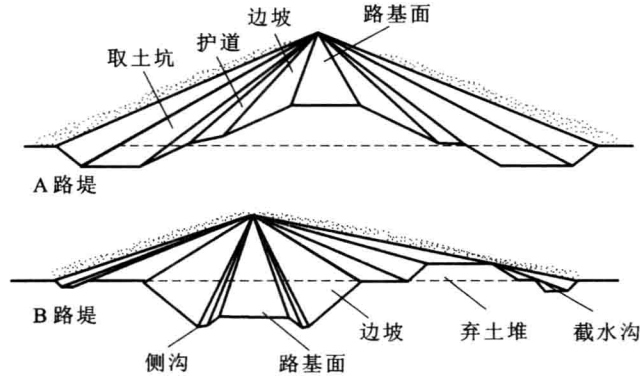


图 8-1 路基结构的组成

#### ①路基本体。

路基本体是直接铺设轨道结构并承受列车荷载的部分,如路堤、路堑等。它是路基工程中的主体建筑物。

#### ②路基防护和加固建筑物。

路基防护和加固建筑物属路基的附属建筑物,如挡土墙、护坡等。

#### ③路基排水设备。

排水设备也属路基的附属建筑物,如排除地面水的排水沟、侧沟、天沟和排除地下水的排水槽、渗水暗沟、渗水隧洞等。

路基主要由松散的土(石)材料所构成,完全暴露在大自然中,经常受到各种自然因素的侵袭和破坏,同时受轨道静荷载和列车荷载的多次重复作用,因此,应合理设计,以保证路基工程具有坚固、稳定和耐久性,能抵抗各种自然因素的侵袭和破坏。

#### (2)路基横断面形式

路基横断面是垂直线路中心线而截得的断面。因地形条件的不同,有路堤、路堑、半路堤、半路堑、半堤半堑、不填不挖六种形式,如图 8-2 所示。

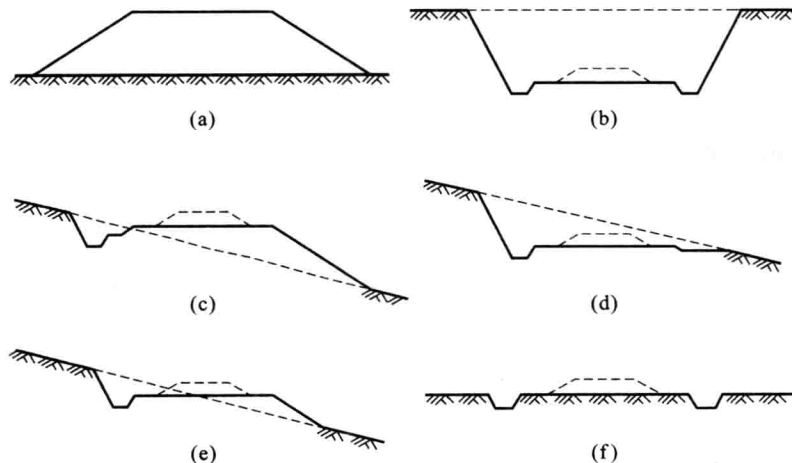


图 8-2 路基横断面

(a) 路堤;(b) 路堑;(c) 半路堤;(d) 半路堑;(e) 半堤半堑;(f) 不挖不填

### (3) 路基横断面基本构造

路基由路基本体、路基防护和加固建筑物以及路基排水设备 3 部分组成。而路基防护和加固建筑物以及路基排水设备又称为路基设备。

#### ① 路基本体。

在各种路基形式中,为了能按线路设计要求铺设轨道而构筑的部分,称为路基本体。路基本体由路基面、路肩、边坡、路基基床、路基基底等几部分构成。

路基面是指路基本体中为形成轨道铺设条件和确保线路正常运营而构筑的构造面。在路堤中路基面即为路堤堤身的顶面,也称路堤顶面;在路堑中,路基面即为堑体开挖后形成的构造面。

路肩是指路基面两侧自道床坡脚至路基面边缘的部分。在线路设计中,路基的设计标高以路肩边缘的标高表示,称为路肩标高。

在路堤的路肩边缘以下和路堑路基面两侧的侧沟外,因填挖而形成的斜坡面称为路基边坡。边坡的坡形常修筑成单坡形、折线形和阶梯形。每一坡段坡面的斜率以边坡断面上取上、下两点间的高差与水平距离之比表示,当高差为 1 单位长时,水平距离经折算为  $m$  单位长,则斜率为  $1:m$ 。路基工程中,以  $1:m$  方式表示的斜率称为坡度, $m$  称为坡率,如  $1:0.75$ 。

路基面以下受到列车动荷载作用和受水文、气候四季变化影响的深度范围为基床。列车动应力由轨道、道床传至路基本体,然后沿深度逐渐衰减,在路基的某一深度处,列车荷载引起的动应力只占路基自重荷载的一小部分,如  $1/5$  或  $1/10$ 。在此深度以下,动荷载对土基的影响很小,可以忽略不计。这一深度范围以内称为路基基床。路基基床分基床表层和基床底层两部分。我国高速铁路路基的基床厚度为  $3.0\text{m}$ 。

路堤下地基内承受路堤及轨道、列车等荷载作用的部分称为路堤基底。

在路堤中,堤身的填筑和竣工后铺设轨道、运行列车等都将在地基内形成附加应力,附加荷载影响范围内地基土的性状和承载力对路堤堤身的稳定性十分重要。在地基保持稳定时,地基内这一部分土体因应力增长而引起的变形对估算路堤在施工和竣工后的沉降也很重要。在路堑中,路基在地基内是以开挖方式构成的。开挖中地基因卸载而引起的土中应力变化,以及路堑竣工后形成的地基内新的应力分布状态,会对路堑在开挖中和竣工后的边坡稳定性起重要的作用。路堑的基底为路堑边坡土体内和堑底路基面以下的地基内产生应力变化的部分,这部分土体的性状可对路堑本体的稳定及堑体变形起重要作用。

#### ② 路基设备。

路基设备是为确保路基本体的稳固性而采用的必要的经济合理的附属工程措施。它包括排水设备、防护和加固设备两大类。

##### a. 路基的排水设备分地面排水设备和地下排水设备两种。

I. 地面排水设备用以拦截地面径流,汇集路基范围内的雨水并使其畅通地流向天然排水沟谷,以防止地面水对路基的浸湿、冲刷,影响其良好状态。常用的路基地面排水设施有边沟、截水沟、排水沟、跌水与急流槽、倒虹吸管与渡水槽以及蒸发池等几种。

II. 地下排水设备用以拦截、疏导地下水和降低地下水位,以改善地基土和路基边坡的工作条件,防止或避免地下水对地基和路基本体的有害影响。常用的地下排水设施有暗沟、渗沟和渗井等。

##### b. 路基常用的防护设备有坡面防护设备和冲刷防护设备。

为了防止路基边坡和坡脚受坡面雨水的冲刷,防止日晒雨淋引起土的干湿循环,防止气温变化引起土的冻融变化而影响边坡的稳固,常采用坡面防护。常用的坡面防护设施有植物防护、圬工防护、骨架植物防护 3 种。

为了防止河水对边坡、坡脚或坡脚处地基不断的冲刷和淘刷,应设冲刷防护,冲刷防护的措施有直接和间接两类。

### c. 路基加固设备。

路基加固设备是用以加固路基本体或地基的工程设施,包括护堤、挡土墙、支垛、抗滑桩及其他地基加固措施。

## 8.1.2.2 铁路轨道

### (1) 钢轨

#### ① 钢轨的功用及要求。

钢轨是铁路轨道的主要组成部件,它的功用在于引导机车车辆的运行,承受车轮的巨大压力并传递到轨枕上,为车轮提供连续、平顺和阻力较小的滚动表面。在电气化铁路或自动闭塞区段,钢轨还兼做轨道电路之用。

为使列车能够安全、平稳和不间断地运行,钢轨除必须充分发挥上述诸功能外,还应保证在轮载和轨温变化作用下,应力和变形均不超过规定的限值,这就要求钢轨具有足够的强度、韧性和耐磨性。

机车依靠其动轮与钢轨顶面之间的摩擦牵引列车前进,这就要求钢轨顶面粗糙,使车轮与钢轨之间产生足够的摩擦力。但对车辆来说,摩擦力太大会使行车阻力增加,这又要求钢轨有一个光滑的滚动表面。从这一矛盾的主要方面出发,钢轨仍应维持其光滑的表面,必要时,可通过向轨面撒砂提高机车动轮与钢轨之间的黏着力。

钢轨依靠本身的刚度抵抗轮载作用下的弹性弯曲,但是为了减轻车轮对钢轨的动力冲击作用,防止机车车辆走行部分及钢轨的折损,要求钢轨具有必要的弹性。

车轮与钢轨之间接触面积很小,而来自车轮的压力却十分巨大,为使钢轨不致被压陷或磨损太快,钢轨应具有足够的硬度。但硬度太高,钢轨又容易受冲击而折损,因此,要求钢轨具有一定的韧性。

此外,还应考虑到在我国的铁路建设事业中,每年需要大量的各种类型钢轨,因此,钢轨必须设计合理、价格低廉、轻重齐备、自成系列。

为满足上述这些要求,在设计和制造钢轨时,对其材质、断面形状、质量、强度、韧性和耐磨性能等都应充分考虑。

#### ② 钢轨的断面及类型。

作用于钢轨上的力主要是竖直力,其结果是使钢轨挠曲。钢轨可视为弹性基础上的连续长梁,而梁抵抗挠曲的最佳断面形状为工字形。因此,钢轨采用由轨头、轨腰和轨底三部分组成的宽底式工字形断面,如图 8-3 所示。

钢轨的类型以每米长度钢轨的质量( $\text{kg/m}$ )来表示,目前,我国铁路的钢轨类型主要有  $75\text{kg/m}$ 、 $60\text{kg/m}$ 、 $50\text{kg/m}$ 、 $43\text{kg/m}$  四种。随着机车车辆轴重的加大和行车速度的提高,钢轨正在向重型发展,目前世界上最重型的钢轨已达到  $77.5\text{kg/m}$ 。我国钢轨的标准长度有  $12.5\text{m}$  及  $25\text{m}$  两种,另外,还有用于曲线轨道内股比  $12.5\text{m}$  标准轨缩短  $40\text{mm}$ 、 $80\text{mm}$ 、 $120\text{mm}$  和比  $25\text{m}$  标准轨缩短  $40\text{mm}$ 、 $80\text{mm}$ 、 $160\text{mm}$  的六种标准缩短轨。

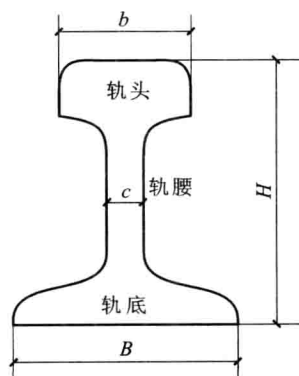


图 8-3 宽底式工字形断面

### ③ 钢轨接头及轨缝。

在普通线路轨道上,钢轨与钢轨之间用夹板连接,其连接处称为钢轨接头。

钢轨接头按其对轨枕的位置,分为悬空式和承垫式两种。

钢轨接头悬于两根轨枕之间,为悬空式接头,目前我国铁路上均采用悬空式接头,如图 8-4(a)所示。实践证明,这种接头形式的受力条件较好,结构简单,便于维修和养护。

钢轨接头压于轨枕之上,为承垫式接头。承垫式接头又分为单枕承垫式和双枕承垫式两种。当列车通过时单枕承垫式接头会使轨枕左右摇动,不稳定,故很少采用,双枕承垫式接头如图 8-4(b)所示。承垫式接头主要用于需要加强线路接头的地方(如连接两种不同类型钢轨的异型接头),以保证接头有足够的强度和位置稳定。

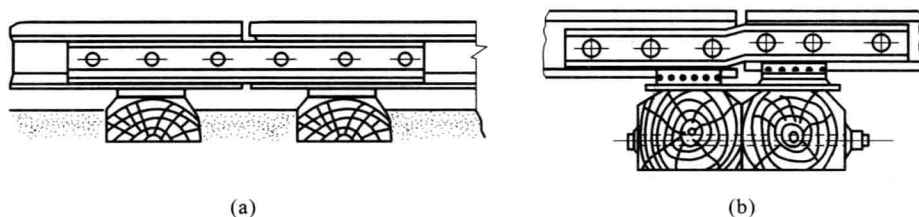


图 8-4 钢轨接头

(a) 普通悬空式接头; (b) 双枕承垫式接头

钢轨接头按其在两股轨线上的相互位置,分为相对式和相互式。

相对式接头也叫对接,即两股钢轨的接头左右相对,如图 8-5(a)所示。相互式接头也叫相错式接头或错接,即一股钢轨的接头与另一股钢轨的接头错开布置,如图 8-5(b)所示。实践证明,采用相对式接头能使左右钢轨受力均匀,且有利于机械化铺轨(铺轨排)和提高旅客的舒适度。因此,我国广泛采用对接形式,只有在专用线上铺设非标准长的钢轨(或再用轨)时才采用相错式接头,并规定相错式接头的接头错开距离应不小于 3.0m。



图 8-5 钢轨接头形式

(a) 相对式; (b) 相互式

钢轨接头按其用途和性能可分为普通接头、异型接头、绝缘接头、导电接头、伸缩接头、冻结接头、胶结绝缘接头等。

钢轨接头连接零件包括夹板、螺栓、螺母、垫圈等,其作用是连接钢轨,保持轨线的连续性,并传递和承受弯矩和纵、横向作用力。

普通线路钢轨接头,应根据钢轨长度、轨温变化及钢轨伸缩规律预留轨缝。

### (2) 轨枕

轨枕承受来自钢轨的各向压力,并弹性地传布于道床,保持钢轨的位置、方向和轨距。因此,轨枕应具有必要的坚固性、弹性和耐久性,并应便于固定钢轨,且造价低廉、制作简单、铺设及养护方便。

轨枕的种类,按材料分有木枕、混凝土枕和钢枕;按用途分有普通轨枕、岔枕和桥枕等。

#### ① 木枕。

木枕又称枕木,具有弹性好,易于加工制作,运输、铺设、养护维修方便,与钢轨的连接较简便,绝缘性能好,成本低等优点;但也存在着容易腐朽、磨损,使用寿命短,弹性不一致,轨道几何形位不

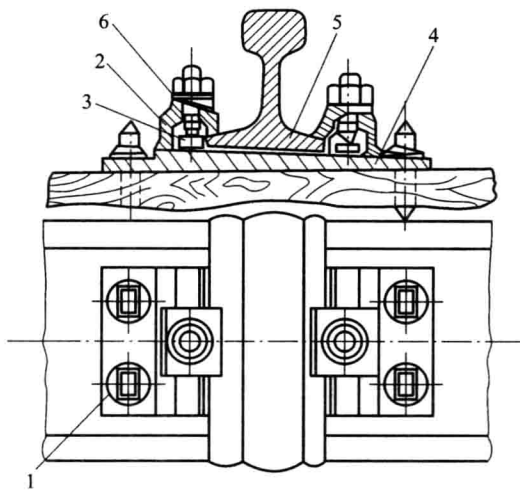


图 8-6 木枕分开式扣件

1—螺纹道钉;2—轨卡;3—轨卡螺栓;  
4—铁垫板;5—轨下垫板;6—弹簧垫圈

易有效保持等缺点。木枕分开式扣件如图 8-6 所示。制作木枕的树种,要求坚韧而富有弹性,并且必须具有较高的抗腐蚀能力。

### ②混凝土枕。

随着铁路向高速、重载发展的需要,用混凝土枕代替木枕已成为发展方向。混凝土枕的优点是材料来源丰富,质量大(I、II型轨枕为 220~250kg,III型轨枕约 350kg),并能保证尺寸统一,使轨道弹性均匀,提高轨道的稳定性。混凝土枕不受气候、腐朽、虫蛀及火灾的影响,使用寿命长。此外,混凝土枕还具有较高的道床阻力,这对提高无缝线路的横向稳定性是十分有利的。

### ③混凝土宽轨枕。

混凝土宽轨枕俗称轨枕板,简称宽轨枕,是继我国大量推广混凝土枕后发展起来的轨道结构,其底面积大(宽度约为混凝土枕的一倍),能有效地降

低道砟应力和变形,加之质量大(每块约 500kg),底部摩擦力增加,轨道变形比木枕或混凝土枕轨道大为减少。宽轨枕采用密铺式(每千米铺设 1760 根),每块间隔约为 2.6cm,枕间缝隙小,道床不易脏污,外观整洁美观,轨道平顺性、稳定性好。其缺点是养护、维修较困难。图 8-7 所示为“筋-82”预应力钢筋混凝土宽轨枕的结构形式。宽轨枕适用于大型客货站场、长大隧道和行车密度大的线路。

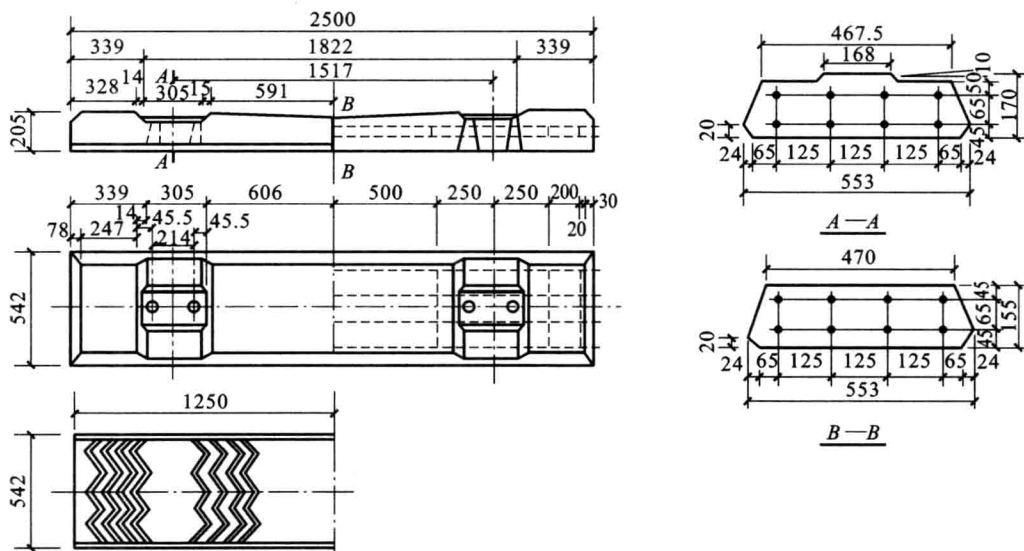


图 8-7 “筋-82”预应力钢筋混凝土宽枕(单位:mm)

### (3)连接零件

钢轨与轨枕间的连接是通过中间连接零件实现的。中间连接零件也称扣件,扣件必须具有足够的强度、耐久性和一定的弹性,能长期有效地保持钢轨与轨枕的可靠连接,阻止钢轨相对于轨枕的移动,并能在动力作用下充分发挥其缓冲减震性能,延缓轨道残余变形积累。此外,扣件还应构



造简单,便于安装、拆卸和养护维修。

#### (4)道床

##### ①道床的功用。

道床是指铺设在路基之上、轨枕之下的道砟层,是轨枕的基础,它的主要功用是:

a. 直接承受轨枕传来的压力,并把这个压力扩散,均匀地传布于路基面,对路基面起到保护作用;

b. 阻止轨道框架在列车作用下发生的纵横向位移,保持轨道稳定;

c. 便于排水,使路基面和轨道保持干燥;

d. 使轨道具有更大的弹性和缓冲性能;

e. 便于校正轨道的平面、纵断面。

##### ②道床材料。

由于道床应具备以上功能,因此,要求作为道床组成部分的道砟应具有下列性能:

a. 质地坚韧,有足够的强度;

b. 排水性好,吸水度小,不易风化,不易磨碎和捣碎;

c. 在外力作用下不易被风吹动和被雨水冲走。

常用的道砟材料有:碎石、天然级配卵石、筛选卵石、粗砂及熔炉矿渣等。

原则上新建、改建铁路的正线和到发线应采用碎石道砟;中型轨道碎石供应有困难时,可以采用筛选卵石;轻型轨道和其他站线、次要线路可就地选用各种道砟材料。我国铁路绝大部分采用碎石作为道砟,因此,这里仅介绍碎石道砟的技术要求。

##### ③道床断面。

道床断面包括道床厚度、顶面宽度及边坡坡度三个主要特征指标。图 8-8 为直线地段道床断面。

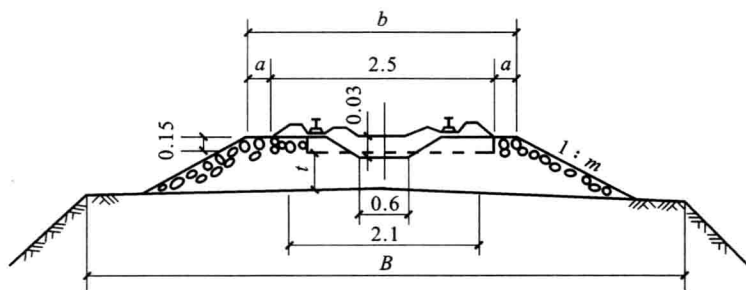


图 8-8 直线地段道床断面(单位:m)

##### a. 道床厚度。

道床厚度是指直线上钢轨或曲线上内股钢轨中轴线下轨枕底面至路基顶面的距离。

道床厚度应根据运量、轴重、行车速度等运营条件和道砟质量、路基强度及轨枕间距等轨道条件确定,应以满足压力传布不超过路基面上容许的最大压力为度,道床过厚既有碍作业,也不经济。在运量较小,行车速度较低的线路上以及在隧道、车站范围内,在受条件限制时,可以酌情降低道床厚度。但在正线上木枕地段,碎石道床厚度不得小于 20~25cm;混凝土枕地段不得小于 30cm;桥梁上道砟槽内、隧道内及站线上不得小于 20cm。道床厚度根据运营条件、轨道类型、路基土质等选用。

##### b. 道床顶面宽度。

道床顶面宽度与轨枕长度和道床肩宽有关。轨枕长度基本上是固定的,因此道床顶面宽度主要取决于道床肩宽,道床宽出轨枕两端的部分称为砟肩,其宽度称为道床肩宽,一般情况肩宽在450~500mm已能满足要求,再宽则作用不大。在无缝线路地段,为了提高道床的横向阻力,可将砟肩适当堆高。此外,规定设计速度为160km/h的线路,其正线道床顶面宽度不得小于3.4m;设计速度200km/h的线路,其正线道床顶面宽度不得小于3.5m。

道床顶面(以轨底处为准)应低于轨枕顶面20~30mm,以防止道床表面水分锈蚀钢轨和扣件,以及防止轨道电路漏电。Ⅰ型混凝土枕中部道床应掏空,其顶面应低于枕底不小于20mm,长度为200~400mm;Ⅱ型和Ⅲ型混凝土枕中部可不掏空,但应保持疏松。

### c. 道床边坡坡度。

道床边坡是指自道床顶面引向路基顶面的斜边,其坡度大小是保证道床坚固稳定的重要因素。道床边坡的稳定取决于道砟材料的内摩擦角与黏聚力,也与道床肩宽有一定的联系。增大肩宽可采用较陡的边坡,而减小肩宽则必须采用较缓的边坡。我国铁路规定正线区间道床边坡坡度均为1:1.75,见表8-1。

表8-1

道床顶面宽度及边坡坡度

线路类别			顶面宽度 /m	曲线外侧道床加宽		砟肩堆高 /m	边坡坡度
				半径/m	加宽/m		
正线	无缝 线路	$v_{\max}>160\text{km/h}$	3.5			0.15	1：1.75
		$v_{\max}\leqslant 160\text{km/h}$	3.4	$\leqslant 600$	0.10	0.15	1：1.75
	普通 线路	年通过总质量不小于 8000t	3.1	$\leqslant 800$	0.10		1：1.75
		年通过总质量小于 8000t	3.0	$\leqslant 600$	0.10		1：1.75
	站线			2.9			

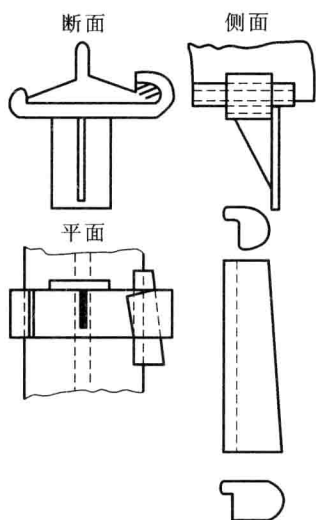


图8-9 穿销式防爬器

### (5) 爬行及防爬设备

#### ① 轨道的爬行。

列车车轮沿钢轨运行时,除产生竖直力和横向力外,还有纵向力。由于纵向力的作用,在钢轨基础阻力不足以抵抗这一纵向力时,会引起钢轨纵向位移,在扣件阻力大于道床阻力的条件下,还会带动轨枕一起移动,这种现象称为轨道的爬行,其纵向力称为爬行力。

#### ② 防爬设备。

轨道爬行是线路的主要病害之一,对轨道结构的整体性和稳定性起破坏作用,因此,必须从设备上采取措施防止爬行。

我国铁路目前采用的防爬设备,基本上采用穿销式防爬器和防爬支撑相结合的方式。我国广泛使用的是穿销式防爬器,如图8-9所示。

### (6) 道岔

#### ① 道岔的作用和分类。

##### a. 道岔的作用。

把两条或两条以上的轨道,在平面上进行连接或交叉的设备,统称为道岔。根据用途和条件不同,可以利用道岔把许多股道连接组合成不同形式的车站或车场。

道岔具有数量多、构造复杂、使用寿命短、限制列车速度、行车安全性低、养护维修投入大等特点,道岔与曲线、接头并称为铁路轨道的三大薄弱环节。

#### b. 道岔的分类。

根据道岔的用途和构造形式的不同,道岔可分为连接设备、交叉设备、连接与交叉设备。

连接设备主要有普通单开道岔、对称双开道岔,交叉设备主要有菱形交叉,连接与交叉设备主要有渡线道岔、复式交分道岔。

##### (a) 普通单开道岔。

普通单开道岔又称单开道岔,是以直线为主线,侧线向主线的左侧或右侧分支的道岔,如图 8-10 所示。

##### (b) 对称双开道岔。

对称双开道岔是把直线轨道分为左右对称的两条轨道的道岔,如图 8-11 所示。

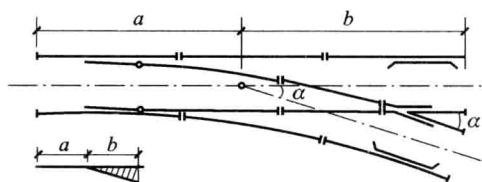


图 8-10 单开道岔

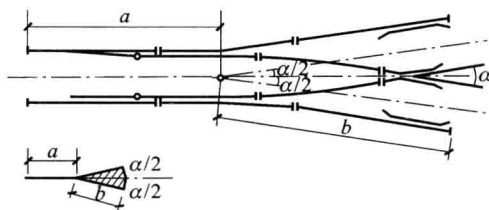


图 8-11 对称双开道岔

##### (c) 菱形交叉。

菱形交叉是两条轨道在同一平面相交成菱形的交叉,如图 8-12 所示。

##### (d) 渡线道岔。

渡线是连接两条平行股道的轨道设备。常见的有单渡线(图 8-13)和交叉渡线(图 8-14)。

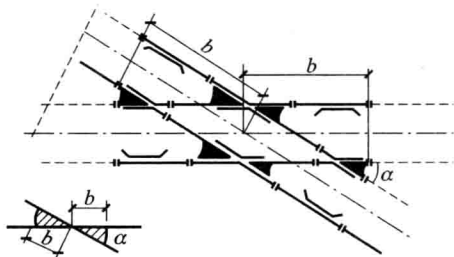


图 8-12 菱形交叉

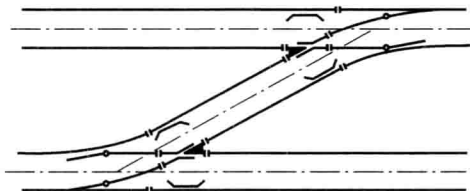


图 8-13 单渡线

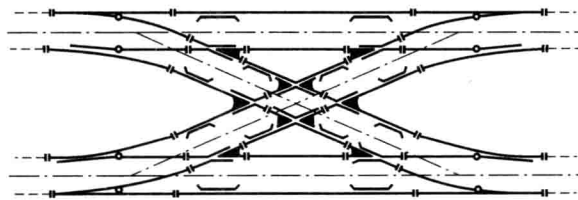


图 8-14 交叉渡线

##### (e) 复式交分道岔。

在菱形交叉的基础上,增设两组双转辙器和两个方向不同的侧线,让机车车辆既可以沿交叉轨道直向运行,又可以沿曲线转入侧线的道岔,如图 8-15 所示。

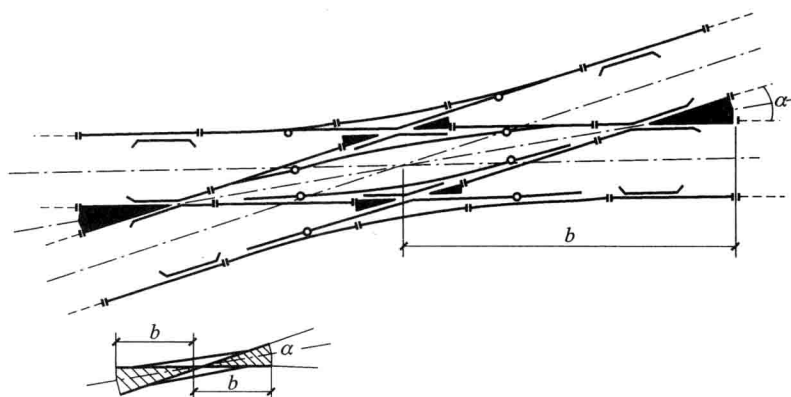


图 8-15 复式交分道岔

## ②普通单开道岔的构造。

单开道岔主要由转辙器、辙叉及护轨、连接部分组成,如图 8-16 所示。

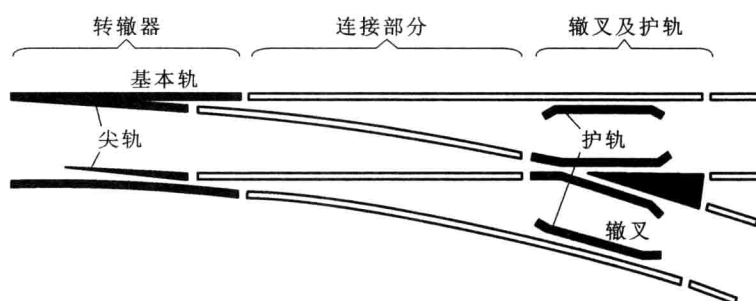


图 8-16 单开道岔组成

尖轨尖端前基本轨端轨缝中心处称道岔始端(或称岔头),辙叉跟端轨缝中心处则称道岔终端(或称岔尾)。

站在道岔始端面向道岔终端,凡侧线位于直线左方的称左开道岔;侧线位于直线右方的称右开道岔。

列车通过道岔时,凡由道岔终端驶向道岔始端时,称顺向通过岔;由始端驶向终端时,称逆向通过道岔。

### a. 转辙器。

转辙器是引导列车进入道岔不同方向的设备。其作用是通过将尖轨扳动到不同的位置,使列车沿直线或侧线行驶。它由尖轨、基本轨、连接零件(有拉杆、连接杆、顶铁、滑床板、轨撑)、跟端结构、辙前垫板、辙后垫板及转辙机械等组成,如图 8-17 所示。

### b. 辙叉及护轨。

辙叉及护轨包括辙叉、护轨、主轨(安装护轨的基本轨)及其他连接零件。辙叉与护轨共同配合发挥作用,如图 8-18 所示。

辙叉是道岔中两股线路相交处的设备。其作用是使列车能够按确定的行驶方向,跨越线路正常通过道岔。护轨设置在辙叉两侧,是固定型辙叉的重要组成部分。其作用是控制车轮运行方向,使之正常通过“有害空间”而不错入轮缘槽,防止轮缘冲击或爬上辙叉心轨尖端,保证行车安全。

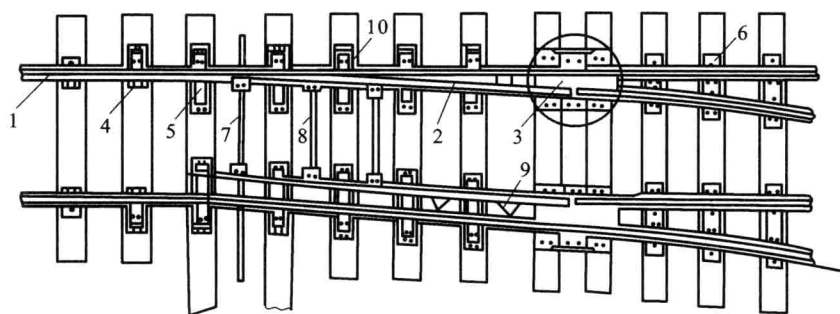


图 8-17 转辙器

1—基本轨;2—尖轨;3—跟端结构;4—辙前垫板;5—滑床板;  
6—辙后垫板;7—拉杆;8—连接杆;9—顶铁;10—轨撑

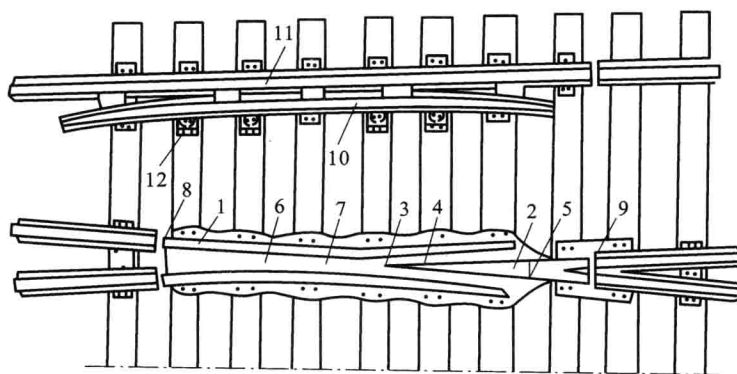


图 8-18 辙叉及护轨

1—翼轨;2—心轨(叉心);3—理论尖端;4—实际尖端;5—辙叉角;6—咽喉;  
7—有害空间;8—辙叉趾端;9—辙跟垫板;10—护轨;11—基本轨;12—垫板

c. 道岔连接部分。

连接部分是转辙器和辙叉之间的连接线路,包括直股连接线和曲股连接线(亦称为导曲线)。

d. 岔枕。

岔枕有木岔枕、混凝土岔枕和钢岔枕。木岔枕广泛应用于各种线路的道岔上,混凝土岔枕多铺设在中间站的正线道岔上,钢岔枕在提速道岔中专用。

### 8.1.3 铁路选线设计

#### 8.1.3.1 铁路选线的一般原则

①在铁路设计的各个阶段,应运用各种先进手段对线路方案作深入细致的研究,在多方案论证、比选的基础上,选定最优线路方案。

②线路设计应在保证行车安全、平顺和舒适度的前提下,做到工程量小、造价低、运营费用省、效益好,且有利于施工和养护。

③选线应注意同农田基本建设相配合,做到少占良田,尽量不占高产田、经济作物田或穿过经济园林等。

④通过名胜、古迹、风景区的铁路,应注意保护原有自然状态,其人工构造物应与周围环境、景

观相协调,处理好与重要历史文物遗址的关系。

⑤选线时对工程地质和水文地质进行深入勘察,弄清它们对铁路工程的影响。

⑥选线应重视环境保护,注意由于铁路修筑、运营所产生的环境影响和污染。

#### 8.1.3.2 选线设计的主要工作内容

①根据国家政治、经济和国防的需要,结合线路经过地区的自然条件、资源分布、工农业发展等情况,规划线路的基本走向(即方向),选定铁路的主要技术标准。在城市里,则根据地区的商业或工业发展等情况,来规划线路的走向。

②根据沿线的地形、地质、水文等自然条件和村镇、交通、农田、水利设施,来设计线路的空间位置。

③研究布置线路上的各种建筑物,如车站、桥梁、隧道、涵洞、路基、挡墙等,并确定其类型和大小,使其总体上互相配合,全局上经济合理。

## 8.2 高速铁路

高速铁路,简称“高铁”,是指通过改造原有线路(直线化、轨距标准化),使最高营运速率达到不小于每小时 200km,或者专门修建新的“高速新线”,使营运速率达到每小时至少 250km 的铁路系统。高速铁路除了使列车达到一定速度标准外,车辆、路轨、操作要求都需要配合提升。

### 8.2.1 高速铁路的概念及特点

#### 8.2.1.1 高速铁路的概念

作为世界上最早开始发展高速铁路的国家,日本政府在 1970 年发布第 71 号法令,为制定全国新干线铁路发展的法律时,对高速铁路的定义是,凡一条铁路的主要区段,列车的最高运行速度达到 200km/h 或 200km/h 以上者,可以称为高速铁路。

美国联邦铁路管理局对“高速铁路”的官方定义为最高营运速度高于 145km/h 的铁路。但从社会大众的角度,“高速铁路”一词在美国通常会被用来指营运速度高于 160km/h 的铁路服务,这是因为在当地除了阿西乐快线(最高速度 240km/h)以外并没有其他营运速度高于 128km/h 的铁路客运服务。

中华人民共和国原铁道部对“高速铁路”的定义分为两部分:既有线改造达到 200km/h 和新建时速达到 200~250km/h 的线路,在这部分线路上运营的时速不超过 250km/h 的高速列车称为“动车组(D 车)”,以及按 D 车模式运行的跨线“高速动车组(G 车)”,同时可执行普通客运列车及少量货运列车作业的运营模式;以新建的时速达到 300~350km/h 的线路,这部分线路上运营时速达到 300km/h 及以上的 G 车以及最高速达 300km/h 的 D 车。

#### 8.2.1.2 高速铁路与普通铁路的区别

①高速铁路非常平顺,以保证行车安全和舒适性,高速铁路都是无缝钢轨,而且时速在 300km/h 以上的高速铁路采用的是无砟轨道,就是通过铺设没有石子的整体式道床来保证平顺性。

②高速铁路的弯道少,弯道半径大,道岔都是可动心高速道岔。

③大量采用高架桥梁和隧道来保证平顺性和缩短距离。

④高速铁路的接触网,即火车顶上的电线的悬挂方式也与普通铁路不同,以此来保证高速动车组的接触稳定和耐久性。

⑤高速铁路的信号控制系统比普通铁路高级,因为发车密度大、车速快,安全性一定要高。

### 8.2.1.3 高速铁路的主要优势

#### (1)省时、载客量大

倘若旅程不以大城市中心为出发地及目的地,使用高速铁路加上转乘的时间可能只跟驾驶汽车相仿,但高速铁路无须自驾车,较为舒适。另外,虽然高速铁路的速度比不上飞机,但在距离稍短的旅程(650km以下),高速铁路因为无须到通常较远的机场登机,也不需要值机、行李托运和安检,故仍较乘坐飞机省时。由于高速铁路的班次安排较为频密,其总载客量亦远高于民航。

#### (2)输送能力大

目前各国高速铁路几乎都能满足最小行车间隔时间 4min 及其以下(日本可达 3min)的要求,扣除维修时间 4h,则每天可开行的旅客列车约为 280 对;如每列车平均乘坐 800 人,年均单向输送能力将达到 82000 万人;如果采用双联列车或改用双层客车,载客高达 1.65 亿人。4 车道高速公路客运专线,单向每小时可通过小轿车 1250 辆,全天工作 20h,可通过 25000 辆。如大轿车占 20%,平均乘坐 40 人;小轿车占 80%,每车乘坐 2 人,年均单向输送能力为 8760 万人。航空运输主要受机场容量限制,如一条专用跑道的年起降能力为 12 万架次,采用大型客机的单向输送能力只能达到 1500 万~1800 万人。

#### (3)速度快

速度快是高速铁路技术水平的最主要标志,各国都在不断提高列车的运行速度。法国、日本、德国、西班牙和意大利高速列车的最高运行时速分别达到了 300km/h、300km/h、280km/h、270km/h 和 250km/h。如果作进一步改善,运行时速可以达到 350~400km/h。除最高运行速度外,旅客更关心的是旅行时间,而旅行时间是由旅行速度决定的。以北京至上海为例,在正常天气情况下,乘飞机的旅行全程时间(含市区至机场、候检等全部时间)为 5h 左右,如果乘高速铁路的直达列车,全程旅行时间则为 5~6h,与飞机相当;如果乘既有铁路列车,则需要 15~16h;若与高速公路比较,以上海到南京为例,沪宁高速公路 274km,汽车平均时速 83km,行车时间为 3.3h,加上进出沪、宁两市区一般需 1.7h,旅行全程时间为 5h,而乘高速列车,则仅需 1.15h。

#### (4)安全性好

高速铁路由于在全封闭环境中自动化运行,又有一系列完善的安全保障系统,所以其安全程度是其他任何交通工具无法比拟的。高速铁路问世 35 年以来,日、德、法三国共运送了 50 亿人次旅客。除德国 1998 年 6 月 3 日的 ICE884 高速列车行驶在改建线上发生事故外,各国高速铁路都未发生过重大行车事故,也没有因事故而引起人员伤亡。这是各种现代交通运输方式所罕见的。几个主要高速铁路国家,一天要发出上千对的高速列车,即使计入德国发生的事故,其事故率及人员伤亡率也远远低于其他现代交通运输方式。因此,高速铁路被认为是最安全的。与此形成鲜明对比的是,据统计,全世界每年由于公路交通伤亡事故死亡 25 万~30 万人。

#### (5)正点率高

高速铁路全部采用自动化控制,可以全天候运营,除非发生地震。据日本新干线风速限制的规范规定,若装设挡风墙,即使在大风情况下,高速列车也只需减速行驶,比如风速达到每秒 25~30m,列车限速在 160km/h;风速达到每秒 30~35m(类似 11、12 级大风),列车限速在 70km/h,而无须停运。飞机机场和高速公路等,在浓雾、暴雨和冰雪等恶劣天气情况下,则必须关闭停运。



正点率高也是高速铁路深受旅客欢迎的原因之一。由于高速铁路系统设备的可靠性和较高的运输组织水平,可以做到旅客列车极高的正点率。西班牙规定高速列车晚点超过 5min 就要退还旅客的全额车票费;日本规定到发超过 1min 就算晚点,晚点超过 2h 就要退还旅客的加快费,1997 年东海道新干线列车平均晚点只有 0.3min。高速列车极高的准时性深得旅客信赖。

#### (6) 舒适方便

高速铁路一般每 4min 发出一列车,日本在旅客高峰时每 3.5min 发出一列客车,旅客基本上可以做到随到随走,不需要候车。为方便旅客乘车,高速列车运行规律化,站台按车次固定化等。这是其他任何一种交通工具无法比拟的。高速铁路列车车内布置考究,设施齐全,坐席宽敞舒适,走行性能好,运行非常平稳。减震、隔音,车内很安静。乘坐高速列车旅行几乎无不便之感,无异是愉快的享受。

#### (7) 能源消耗低

如果以“人/公里”单位能耗来进行比较,若高速铁路为 1,则小轿车为 5,大客车为 2,飞机为 7。高速列车利用电力牵引,不消耗宝贵的石油等液体燃料,可利用多种形式的能源。

#### (8) 环境影响小

当今,发达国家对新一代交通工具选择的着眼点是对环境影响小。高速铁路符合这种要求,明显优于汽车和飞机。

#### (9) 经济效益好

高速铁路投入运行以来,备受旅客青睐,其经济效益也十分可观。日本东海道新干线开通后仅 7 年就收回了全部建设资金,自 1985 年以后,每年纯利润达 2000 亿日元。德国 ICE 城市间高速列车每年纯利润达 10.7 亿马克。法国 TGV 年纯利润达 19.44 亿法郎。

## 8.2.2 高速铁路的发展

### 8.2.2.1 我国高速铁路的发展

铁路作为国民经济的大动脉、国家重要基础设施和大众化交通工具,在中国经济社会发展中具有重要作用。改革开放以来,中国铁路取得了长足进步,为经济建设作出了重要贡献,然而“一票难求、一车难求”现象仍然十分突出。加快高铁建设已成为解决此瓶颈的主要途径。

2010 年底,中国铁路营运里程达到  $9.1 \times 10^4$  km,居世界第二位;投入运营的高速铁路营运里程达到 8358km,居世界第一位。截至 2010 年底中国动车组列车日均开行 1200 列左右,平均上座率达到 120% 以上,日均发送 92.5 万人次。截至 2011 年高铁预计已建成通车 4715km,合计  $1.3 \times 10^4$  km 以上。

随着中国高铁的发展,“四纵四横”铁路快客通道和六大城际快客系统的实现,高速铁路网在 2012 年和 2013 年已形成网络效应,这将对现有交通运输格局产生较大影响。高速铁路客运专线的建设和投入运营,有利于从根本上缓解铁路运输紧张的状况,提高铁路运输能力和服务质量,为基本实现现代化提供可靠运力;有利于完善综合运输体系,提供质量更高、内容更丰富的客运服务,满足旅客不同层次的需求;有利于促进资源节约和环境保护,可以发挥节约土地、能源以及安全性等比较优势,降低全社会的运输成本,促进沿线经济社会协调发展;有利于加快铁路现代化进程,带动中国经济建设的迅速发展,提高自主创新能力,并进一步加快中国铁路客运高速化的进程。

目前,《“十二五”综合交通运输体系发展规划(征求意见稿)》已经草拟完成,《“十二五”综合交通运输体系发展规划(征求意见稿)》提出到 2015 年中国快速铁路营业里程达  $4.5 \times 10^4$  km,五年增

长率达 438.4%。由此可见未来两年铁路建设仍将是中国交通运输体系建设的重头戏。根据《“十二五”综合交通运输体系发展规划(征求意见稿)》,“十二五”中国铁道建设要完成贯通北京至哈尔滨(大连)、北京至上海、上海至深圳、北京至深圳、青岛至太原、徐州至兰州、上海至成都、上海至昆明等“四纵四横”客运专线。同时,建设北京至呼和浩特、张家口经西安至成都、成都经贵阳至广州、合肥至福州、南京至杭州、合肥至蚌埠、吉林至珲春、沈阳至丹东、哈尔滨至佳木斯等客运专线辅助线、延伸线和联络线,扩大快速客运覆盖范围、快速铁路营业里程达  $4.5 \times 10^4 \text{ km}$ , 连接全国省会城市、基本覆盖 50 万以上人口城市。

随着高铁建设的全面启动,高铁土建工程及高铁设备需求将大规模增长,高铁行业整个产业链将受益。

### 8.2.2.2 世界高速铁路的发展

世界上首条出现的高速铁路是日本的新干线,其于 1964 年正式营运。新干线列车由川崎重工建造,行驶在东京—名古屋—京都—大阪的东海道新干线,营运速度为 271km/h,营运最高时速为 300km/h。

#### (1) 第一次浪潮

1959 年 4 月 5 日,世界上第一条真正意义上的高速铁路东海道新干线在日本破土动工,经过 5 年建设,于 1964 年 3 月全线完成铺轨,同年 7 月竣工,1964 年 10 月 1 日正式通车。东海道新干线从东京起始,途经名古屋、京都等地终至(新)大阪,全长 515.4km,运营速度高达 210km/h,它的建成通车标志着世界高速铁路新纪元的到来。随后法国、意大利、德国纷纷修建高速铁路。1972 年继东海道新干线之后,日本又修建了山阳、东北和上越新干线;法国修建了东南 TGV 线、大西洋 TGV 线;意大利修建了罗马至佛罗伦萨线。以日本为首的第一代高速铁路的建成,大力推动了沿线地区经济的均衡发展,促进了房地产、工业机械、钢铁等相关产业的发展,降低了交通运输对环境的影响程度,铁路市场份额大幅度回升,企业经济效益明显好转。

#### (2) 第二次浪潮

1990 年至 20 世纪 90 年代中期,法国、德国、意大利、西班牙、比利时、荷兰、瑞典、英国等欧洲大部分发达国家,大规模修建该国或跨国界高速铁路,逐步形成了欧洲高速铁路网络。这次高速铁路的建设高潮,不仅仅是铁路提高内部企业效益的需要,更多的是国家能源、环境、交通政策的需要。

#### (3) 第三次浪潮

从 20 世纪 90 年代中期至今,在亚洲(韩国、中国)、北美洲(美国)、澳洲(澳大利亚)以至世界范围内掀起了建设高速铁路的热潮。主要体现在以下几个方面:一是修建高速铁路得到了各国政府的大力支持,一般都有了全国性的整体修建规划,并按照规划逐步实施;二是修建高速铁路的企业经济效益和社会效益,得到了更广层面的共识,特别是修建高速铁路能够节约能源、减少土地使用面积、减少环境污染、交通安全等方面的社会效益显著,以及能够促进沿线地区经济发展、加快产业结构的调整等。

适合高速铁路的生存环境其实只有两条基本原则:一是人口稠密和城市密集,而且生活水准较高,能够承受高速轮轨比较昂贵的票价,能多点停靠;二是较高的社会经济,能科技基础,能够保证高速轮轨的施工、运行与维修需要。

就这两点而言,以巴黎和柏林为核心的欧洲大陆和日本密集的城市带是最适合不过的。因此,世界最先进的高速轮轨技术诞生在德、法、日这 3 个国家就非常合乎逻辑。

### 8.3 城市轨道交通工程

轨道交通很早就作为公共交通在城市中出现,起着越来越重要的作用。经济发达国家城市的交通发展历史告诉我们,只有采用大客运量的城市轨道交通(地铁和轻轨)系统,才是从根本上改善城市公共交通状况的有效途径。

#### 8.3.1 城市轨道交通的基本概念

##### 8.3.1.1 城市轨道交通的定义

城市中使用车辆在固定导轨上运行并主要用于城市客运的交通系统称为城市轨道交通。在《城市公共交通常用名词术语》(GB 5655—1999)中,将城市轨道交通定义为“通常以电能为动力,采取轮轨运输方式的快速大运量公共交通的总称”。

城市轨道交通是指具有固定线路,铺设固定轨道,配备运输车辆及服务设施等的公共交通设施。“城市轨道交通”是一个包含范围较大的概念,在国际上没有统一的定义。一般而言,广义的城市轨道交通是城市公共客运交通系统中具有中等以上运量的轨道交通系统(有别于道路交通),以轨道运输方式为主要技术特征,主要为城市内(有别于城际铁路,但可涵盖郊区及城市圈范围)公共客运服务,是一种在城市公共客运交通中起骨干作用的现代化立体交通系统。

##### 8.3.1.2 城市轨道交通在城市公共交通的地位与作用

①城市轨道交通是城市公共交通的主干线,客流运送的大动脉,是城市的生命线工程。建成运营后,将直接关系到城市居民的出行、工作和生活。

②城市轨道交通是世界公认的低能耗、少污染的“绿色交通”,是解决“城市病”的一把金钥匙,对于实现城市的可持续发展具有非常重要的意义。

③城市轨道交通是城市建设史上最大的公益性基础设施,对城市的全局和发展模式将产生深远的影响。为了建设生态城市,应把摊大饼式的城市发展模式改变为伸开的手掌形模式,而手掌状城市发展的骨架就是城市轨道交通。城市轨道交通的建设可以带动城市沿轨道交通廊道的发展,促进城市繁荣,缓解城市中心人口密集、住房紧张、绿化面积小、空气污染严重等城市通病。

④城市轨道交通的建设与发展有利于提高市民出行的效率,节省时间,改善生活质量。国际知名的大都市由于轨道交通事业十分发达方便,人们出行很少自驾,主要依靠地铁、轻轨等轨道交通,故城市交通秩序井然,市民出行方便、省时。

#### 8.3.2 城市轨道交通的主要技术特性

##### 8.3.2.1 城市轨道交通有较大的运输能力

城市轨道交通由于高密度运转,列车行车时间间隔短,行车速度快,列车编组辆数多而具有较大的运输能力。单向高峰每小时的运输能力最大可达到6万~8万人次(市郊铁道);地铁达到3万~6万人次,甚至达到8万人次;轻轨1万~3万人次,有轨电车能达到1万人次,城市轨道交通的运输能力远远超过公共汽车。据相关文献统计,地下铁道每千米线路年客运量可达100万人次以上,最高达到1200万人次,如莫斯科地铁、东京地铁、北京地铁等。城市轨道交通能在短时间

内输送较大的客流,据统计,地铁在早高峰时 1h 能通过全日客流的 17%~20%,3h 能通过全日客流的 31%。

#### 8.3.2.2 城市轨道交通具有较高的准时性

城市轨道交通由于在专用行车道上运行,不受其他交通工具干扰,不产生线路堵塞现象并且不受气候影响,是全天候的交通工具,列车能按运行图运行,具有可信赖的准时性。

#### 8.3.2.3 城市轨道交通具有较高的速达性

与常规公共交通相比,城市轨道有较高的运行速度,有较高的启、制动加速度,多数采用高站台,列车停站时间短,上下车迅速方便,而且换乘方便,从而可以使乘客较快地到达目的地,缩短了出行时间。

#### 8.3.2.4 城市轨道交通具有较高的舒适性

与常规公共交通相比,城市轨道车辆具有较好的运行特性,车辆、车站等装有空调、引导装置和自动售票系统等直接为乘客服务的设备,城市轨道交通具有较好的乘车条件,其舒适性优于公共电车、公共汽车。

#### 8.3.2.5 城市轨道交通具有较高的安全性

城市轨道交通由于运行在专用轨道上,没有平交道口,不受其他交通工具干扰,并且有先进的通信信号设备,极少发生交通事故。

#### 8.3.2.6 城市轨道交通能充分利用地下和地上空间

大城市地面拥挤、土地费用昂贵。城市轨道交通由于充分利用了地下和地上空间的开发,不占用地面街道,能有效缓解由于汽车大量发展而造成的道路拥挤、堵塞,有利于城市空间合理利用,特别有利于缓解大城市中心区过于拥挤的状态,提高土地利用价值,并能改善城市景观。

#### 8.3.2.7 城市轨道交通的系统运营费用较低

城市轨道交通由于主要采用电气牵引,而且轮轨摩擦阻力较小,与公共电车、公共汽车相比节省能源,运营费用较低。

#### 8.3.2.8 城市轨道交通对环境污染小

城市轨道交通由于采用电气牵引,与公共汽车相比不产生废气污染。由于城市轨道交通的发展,还能减少公共汽车的数量,进一步减少了汽车的废气污染。由于在线路和车辆上采用了各种降噪措施,一般不会对城市环境产生严重的噪声污染。

### 8.3.3 城市轨道交通体系构成

城市轨道交通属于集多专业、多工种于一身的复杂系统,通常由轨道路线、车站、车辆、维护检修基地、供变电、通信信号、指挥控制中心等组成。城市轨道交通的运输组织、功能实现、安全保证均应遵循有轨道交通的客观规律。在运输组织上要实行集中调度、统一指挥、按运行图组织行车。在功能实现方面,各有关于专业如线路、车站、隧道、车辆、供电、通信、信号、机电设备及消防系统均

应保证状态良好,运行正常。在安全保证方面,主要依靠行车组织和设备正常运行来保证必要的行车间隔和正确的行车线路。

为了保证列车运行安全、正点,在集中调度、统一指挥的原则下,行车组织、设备、车辆检修、设备运行管理、安全保证等均由一系列规章制度来规范。列车运行是一个多专业、多工种配合工作,围绕安全行车这一中心而组成的有序联动、时效性极强的系统。

轨道交通系统中,采用了以电子计算机处理技术为核心的各种自动化设备,从而代替人工的、机械的、电气的行车组织、设备运行和安全保证系统。如 ATC(列车自动控制)系统可以实现列车自动驾驶、自动跟踪、自动调度;SCADA(供电系统管理自动化)系统可以实现主变电所、牵引变电所、降压变电所设备系统的遥控、遥信、遥测和遥调;BAS(环境监控系统)和 FAS(火灾报警系统)可以实现车站环境控制的自动化和消防、报警系统的自动化;AFC(自动售检票系统)可以实现自动售票、检票、分类等功能。这些系统全线各自形成网络,均在 OCC(控制中心)设中心计算机,实现统一指挥,分级控制。

### 8.3.4 城市轨道交通的类型

城市轨道交通种类繁多,技术指标差异较大,世界各国评价标准不一,并无严格的分类。由于城市轨道交通在世界范围内发展较快,地区、国家、城市的不同,服务对象的不同等,使城市轨道交通发展成为多种类型。目前尚无十分统一的分类标准,不同的分类方法,可以分出不同的结果。

- ①按容量(运送能力),可分为高容量、大容量、中容量和小容量;
- ②按导向方式,可分为轮轨导向和导向轨导向;
- ③按线路架设方式,可分为地下、高架和地面;
- ④按线路隔离程度,可分为全隔离、半隔离和不隔离;
- ⑤按轨道材料,可分为钢轮钢轨系统和橡胶轮混凝土轨道梁系统;
- ⑥按牵引方式,可分为旋转式直流、交流电机牵引和直线电机牵引;
- ⑦按运营组织方式,可分为传统城市轨道交通、区域快速轨道交通和城市(市郊)铁路。

城市轨道交通按运能范围、车辆类型及主要技术特征可分为有轨电车、地下铁道、轻轨交通、市郊铁路、单轨交通、新交通系统、磁悬浮交通七类,现分述如下。

#### 8.3.4.1 有轨电车

有轨电车(Tram 或 Streetcar)是使用电车牵引、轻轨导向、1~3 辆编组运行在城市路面线路上的低运量轨道交通系统。

有轨电车是最早发展的城市轨道交通之一,一般设在城市中心穿街走巷运行,具有上、下车方便的特点。

有轨电车起源于城市公共马车,为了多载客,人们把马车放在铁轨上。随着电动机的发明和牵引电力网的出现,世界上第一条有轨电车线于 1888 年 5 月在美国弗吉尼亚州里士满市开通。到 20 世纪 20 年代,美国的有轨电车总长达  $2.5 \times 10^4$  km。到 20 世纪 30 年代,欧洲、日本、印度和中国的有轨电车有了很大发展。1906 年,中国第一条有轨电车线在天津北大关至老龙头火车站(今天津站)建成通车,随后上海、北京、抚顺、大连、长春、鞍山等城市相继修建了有轨电车或电铁客车,在当时的城市公共交通中发挥了重要作用。

旧式的有轨电车单向运输能力一般在 1 万人次/小时以下,通常采用地面路线与其他车辆混合运行,运行速度一般为 10~20km/h。旧式有轨电车由于运能、挤占道路、噪声等问题,在 20 世纪

五六十年代被各大城市纷纷拆除,改建运量大的地铁或轻轨交通。中国的有轨电车在 20 世纪 50 年代末已拆得所剩无几,仅大连、长春两城市保留。大连还对有轨电车进行了改造,使其成为城市的一张名片。

旧式的有轨电车已停止了发展,基本上完成了它的历史使命。经改造后的现代有轨电车与性能较差的轻轨交通已很接近,只是车辆尺寸稍小一些,运营速度接近 20km/h,单向运能可达 2 万人次/小时。

### 8.3.4.2 地下铁道

#### (1) 地铁的概念

地下铁道,简称地铁(Metro, Underground Railway, Subway 或 Tube),是城市快速轨道交通的先驱。地铁是由电力牵引、轮轨导向、轴重相对较重、具有一定规模运量、按运行图行车、车辆编组运行在地下隧道内,或根据城市的具体条件,运行在地面或高架线路上的快速轨道交通系统。地铁的运能,单向在 3 万人次/小时,最高可达 6 万~8 万人次/小时。最高速度可达 90km/h,旅行速度可达 40km/h 以上,可 4~10 辆编组,车辆运行最小间隔可低于 1.5min。驱动方式有直流电机、交流电机、直线电机等。地铁造价昂贵,每千米投资为 3 亿~6 亿元人民币。地铁有建设成本高,建设周期长的弊端,但同时又具有运量大、建设快、安全、准时、节省能源、不污染环境、节省城市用地的优点。地铁适用于出行距离较长、客运量需求大的城市中心区域。一般认为,人口超过百万的大城市就应该考虑修建地铁。

#### (2) 地铁的主要技术参数

地铁的主要技术参数见表 8-2。

表 8-2

地铁的主要技术参数

序号	项目	技术参数	序号	项目	技术参数
1	高峰小时单向运送能力/人	30000~70000	9	安全性和可靠性	较好
2	列车编组	4~8 节、最多 11 节	10	最小曲线半径/m	300
3	列车容量/人	3000	11	最小竖曲线半径/m	3000
4	车辆构造速度/(km/h)	80~100	12	舒适性	较好
5	平均运行速度/(km/h)	30~40	13	城市景观	无大影响
6	车站平均间距/m	600~2000	14	空气污染、噪声污染	小
7	最大通过能力/(对/h)	30	15	站台高度	一般为高站台,乘降方便
8	与地面交通隔离率	100%			

地下铁道由于大部分线路在地下或高架通行,因此技术水平要求较高,可靠性和安全性要求也高。地铁系统与国家干线铁路一样,主要由线网、轨道、车站、车辆、通信信号等设备构成,要求各部门能够有机结合、协同动作,最大限度地完成输送任务。



### 8.3.4.3 轻轨交通

#### (1) 轻轨的概念

轻轨(Light Rail Transit, LRT)是在有轨电车的基础上改造发展起来的城市轨道交通系统。轻轨是在轨道上的荷载相对于铁路和地铁荷载较轻的一种交通系统。轻轨是个比较广泛的概念,公共交通国际联合会(UITP)关于轻轨运营系统的解释文件中提到:轻轨是一种使用电力牵引、介于标准有轨电车和快运交通系统(包括地铁和城市铁路),用于城市旅客运输的轨道交通系统。

轻轨原来的定义是指采用轻型轨道的城市交通系统。当初使用的是轻型钢轨,现在轻轨已采用与地铁相同质量的钢轨。国内外都以客运量或车辆轴重的大小来区分地铁和轻轨。轻轨是指运量或车辆轴重稍小于地铁的快速轨道交通。在中国《城市快速轨道交通工程项目建设标准(试行本)》中,把每小时单向客流量为 0.6 万~3 万人次的轨道交通定义为中运量轨道交通,即轻轨。

轻轨一般采用地面和高架相结合的方法建设,路线可以从市区通往近郊。列车编组采用 3~6 辆,铰接式车体。由于轻轨采用了线路隔离、自动化信号、调度指挥系统和高新技术车辆等措施,最高速度可达 60km/h,克服了有轨电车运能低、噪声大等问题。

由于轻轨具有投资少(每千米造价在 0.6 亿~1.8 亿元人民币)、建设周期短、运能高、灵活等优点,因此发展很快。无论是在发达国家,还是在发展中国家,轻轨方兴未艾。各国纷纷根据自己的国情,制订相应的轻轨发展战略和模式。纵观各国情况,大致有以下三类发展模式:一是将旧式有轨电车改造为现代化的轻轨。这种模式以德国、前苏联及东欧各国为典型代表。二是利用废弃铁路线路改建成轻轨路线。这种方式以美国圣迭戈轻轨为代表,欧洲也有类似的情况,如瑞典的哥德堡、德国的卡尔·马克思州也都采用这一方式。中国上海 5 号线、武汉轨道交通 1 号线一期工程也属于这种方式。三是建设轻轨新线路的方式。对有些城市而言,修建轻轨比修建地铁更经济实惠,因此,诸如马尼拉、鹿特丹、香港等城市都相继新修了轻轨线路。

#### (2) 轻轨的类型

经过 100 多年的发展,轻轨已形成 3 种主要类型:钢轮钢轨系统、线性电机牵引系统和橡胶轮轻轨系统。

钢轮钢轨系统即新型有轨电车,是应用地铁先进技术对老式有轨电车进行改造的成果。

线性电机牵引系统(Linear Motor Car)是曲线性电机牵引、轮轨导向、车辆编组运行在小断面隧道及地面和高架专用线路上的中运量轨道交通系统。20 世纪 80 年代,加拿大成功开发了线性电机驱动的新型轨道交通车辆。它采用线性电机牵引、径向转向架和自动控制等高新技术,综合造价节约 20%。它与轮轨系统兼容,便于维护救援,具有较大的爬坡能力。线性电机技术在加拿大、日本、美国都取得了较大的成功,由此研制的线性电机列车也投入了使用。线性电机列车在中国的广州和北京也有应用。由于线性电机列车具有车身矮、质量轻、噪声低、通过小半径曲线和爬坡能力强等优点,可以轻便地钻入地下,爬上高架,是地下与高架接轨的理想车型。以线性电机作动力,其意义还在于它引起了轨道车辆牵引动力的变革。

橡胶轮轻轨系统采用全高架运行,不占用地面道路,具有振动小、噪声低、爬坡能力强、转弯半径小、投资较少等优点。

#### (3) 与地铁的区别

按照国际标准,城市轨道交通列车可分为 A、B、C 三种型号,分别对应 3m、2.8m、2.6m 的列车宽度。凡是选用 A 型或 B 型列车的轨道交通线路称为地铁,采用 5~8 节编组列车;选用 C 型列车的轨道交通线路称为轻轨,采用 2~4 节编组列车,列车的车型和编组决定了车轴质量和站台长度。



上海轨道交通 3 号线采用 6 节编组 A 型列车,有 90% 的线路都是在高架上,但是按照车型分类标准仍然属于地铁线路;上海轨道交通 6 号线采用 4 节编组 C 型列车,有 70% 的线路都是在隧道内,但是按照车型分类标准仍然属于轻轨线路。A 型车是目前最高端的城市轨道交通列车,其特点是车体宽和编组大,A 型车宽度为 3m。上海轨道交通 10 号线采用的阿尔斯通 Metrolis 地铁列车,宽度达到 3.2m;6 节编组 A 型地铁列车最大载客量为 2460 人。上海轨道交通 1、2 号线的阿尔斯通和西门子 8 节编组 A 型地铁列车最大载客量达到 3280 人。B 型车和 C 型车的造价和技术含量要小于 A 型车。中国城市的发展,一些大中型城市已开通或正在建设地铁和轻轨,普通民众由于对城市轨道交通系统接触较少,认识时间较晚,认识上有些误区。对于两者的区别,有人认为城市轨道交通中,在地面以下行驶的叫地铁,在地面或高架上行驶的就是轻轨;还有人认为轻轨的钢轨重量比地铁轻,这两种认识都是错误的。城市轨道交通分为地铁和轻轨两种制式,地铁和轻轨都可以建在地下、地面或高架上。为了增强轨道的稳定性,减少养护和维修的工作量,增大回流断面和减少杂散电流,地铁和轻轨都选用轨距为 1435mm 的国际标准双轨作为列车轨道,与国铁列车选用的轨道规格相同,并没有所谓的钢轨重量轻重之分。

地铁已经不局限于运行线在地下隧道中的这种形式,而是泛指采用高规格电容列车同时高峰小时单向运输能力在 3 万~7 万人的大容量城市轨道交通系统。运行线路多样化,地下、地面、高架三者有机结合。国内外众多城市已用“轨道交通”代替“地铁”这一传统称呼,例如上海就将城市轨道交通系统统一命名为“轨道交通××号线”。

#### 8.3.4.4 市郊铁路

市郊铁路,指的是建在城市内部或内外结合部,线路设施与干线铁路基本相同,服务对象以城市公共交通客流,即短途、通勤旅客为主。

城市铁路通常是分为城市快速铁路和市郊铁路两部分。城市快速铁路是指运营在城市中心,包括近郊城市化地区的轨道系统,其线路采用电气化,与地面交通大多采用立体交叉。市郊铁路是指建在城市郊区,把市区与郊区,尤其是与远郊联系起来的铁路。市郊铁路一般和干线铁路设有联络线,线路大多建在地面,部分建在地下或高架。其运行特点接近于干线铁路,只是服务对象不同。

市郊铁路是城市铁路的主要形式。市郊铁路是伴随着城市规模的扩大、卫星城的建设而发展起来的,通常使用电力牵引和内燃牵引,列车编组多在 4~10 辆,最高速度可达 100~120km/h。市郊铁路运能与地铁相同,但由于站距较地铁长,运行速度超过地铁,可达 80km/h 以上。

#### 8.3.4.5 单轨交通

单轨也称作独轨(Monorail),是指通过单一轨道梁支撑车厢并提供导引作用而运行的轨道交通系统,其最大特点是车体比承载轨道要宽。以支撑方式的不同,单轨通常分为跨座式和悬挂式两种:跨座式是车辆跨座在轨道梁上行驶;悬挂式是车辆悬挂在轨道梁下方行驶。

单轨是采用一条大断面轨道并全部为高架线路的轨道交通。跨座式轨道由预应力混凝土制作,车辆运行时走行轮在轨道上平面滚动,导向轮在轨道侧面滚动导向。悬挂式轨道大多由箱形断面钢梁制作,车辆运行时走行轮沿轨道走形面滚动,导向轮沿轨道导向面滚动导向。

单轨的车辆采用橡胶轮,电气牵引,最高速度可达 80km/h,旅行速度为 30~35km/h,列车可采用 4~6 辆编组,单向运送能力为 1 万~2.5 万人次/小时。

单轨交通历史悠久,早在 1821 年英国人 P H Dalmer 就开发了单轨铁路,并因此获得发明专利。1888 年,法国人在爱尔兰铺设了约 15km 的跨座式单轨铁路,采用蒸汽机车牵引,从此有动力的

单轨走向实用化阶段,但因为车厢摇摆、噪声大等原因,1942 年这条线路停止运营。1893 年,德国人 Langen 发明了悬挂式单轨车辆,1901 年在伍珀塔尔开始运营,线路长 13.3km,其中 10km 跨河架设,成为利用街道上空建设独轨铁路的先驱。这条线路至今仍在使用,成为该市的一个历史景观。

随着科学技术的进步,单轨技术日臻成熟,轨道、车辆和通信信号都有了很大发展,再加上单轨可以利用道路和河流的上方空间,单轨技术受到一定的重视。特别是 1958 年研制出跨座式、混凝土轨道和橡胶充气轮胎的单轨制式,即 ALWEG 型。美国、日本、意大利等许多国家都建设了这种形式的单轨道交通,其中日本建成多条单轨系统,是使用单轨最多的国家。

中国首条跨座式单轨线路是在有“山城”之称的重庆修建的。重庆轨道交通 2 号线(较新线)一期工程于 2004 年建成,全线于 2006 年开通,单轨客车技术从日本引进,经中国北车集团长春轨道客车股份有限公司的技术人员消化、吸收、再创新,终于制造成功。跨座式单轨道交通十分适合重庆市道路坡陡、弯急、路窄的地形特点,同时由于结构轻巧、简洁、易融于山城景色而取得了较好的景观效果。

与轻轨相比,单轨有很多突出的优点。由于单轨客车的走行轮采用特制的橡胶车轮,所以振动和噪声大为减少;两侧装有导向轮和稳定轮,控制列车转弯,运行稳定可靠。高架单轨因轨道梁宽仅为 85cm,不需要很大空间,可适应复杂地形的要求,同时对日照和城市景观影响小。单轨道交通占地少、造价低、建设工期短,它的工程建筑费用仅为地铁的 1/3。

当然,单轨也存在橡胶轮与轨道梁摩擦产生橡胶粉尘的现象,对环境有轻度污染,列车在此区间运行发生事故时,救援比较困难。

#### 8.3.4.6 新交通系统

新交通系统(Automated Guideway Transit, AGT)是一个模糊的概念,不同国家和城市对此都有不同的理解,还没有统一和严格的定义。广义上认为,AGT 是那些所有现代化新型公共交通方式的总称。狭义上新交通系统则定义为:由电气牵引,具有特殊导向、操作和转向方式的胶轮车辆,单车或数辆编组运行在专用轨道梁上的中小运量轨道运输系统。

在新交通系统中,车辆在线路上可无人驾驶,自动运行,车站无人管理,完全由中央控制室的计算机集中控制,自动化水平高。新交通系统与独轨道交通有许多相同之处,但最大的区别在于该系统除有走行轨外,还设有导向轨,故新交通系统也称为自动导轨道交通。新交通系统的导向系统可分为中央导向方式和侧面导向方式,每种方式又可分为单用型和两用型。所谓单用型是指车辆只能在导轨上运行;两用型则指车辆既可在导轨上运行,又可以在一般道路上行驶。

新交通系统最早出现在美国,当初多为一种穿梭式往返运输乘客的短距离交通工具,曾被称为“水平电梯”,或称为“空中巴士”、“快速交通”。在逐渐发展成一种城市客运交通工具后,一般称为“客运系统”(People Mover System)。后来日本和法国又做了进一步的技术改造和发展,并使其成为城市中的一种中运量客运交通系统。日本称之为新交通系统(意指含有高度自动化新技术的交通系统),以区别于其他各种交通运输工具。法国称之为 VAL 系统,名称来源于轻型自动化车辆(Vehicle Automatique Leger)的法文名字字头的拼音,也有一种说法称“VAL”一词是线路起始地名字头的缩写。

新交通系统自 1963 年美国西尼电气公司研发问世后,在世界许多地方被逐渐推广采用,尤以日本和法国无论是技术还是规模都处于领先的地位。世界各地已有几十条规模不等,用途不同,具体构造也有所不同的新交通系统线路。日本将高架独轨和新交通系统看作现代化的象征,故从 1976 年起作出规定,新交通系统可使用国家的财政资助,从而促进了新交通系统的发展。

中国内地的新交通系统处在起步阶段,天津市于 2007 年在滨海新区开通了全长 7.6km 的亚洲首条胶轮导轨线路,北京市于 2008 年奥运会前开通了服务于首都机场 T3 航站楼的新交通系统,上海市也于 2009 年开通了胶轮导轨电车。台北市的木栅线(中山中学至木栅动物园),于 1994 年建成、1996 年 3 月投入运营,线路全长 10.8km,其中高架线 10km、地下线 0.8km,采用 VAL 制式,属中运量新交通系统。香港 20 世纪 90 年代后期建设的新机场从登机厅到机场主楼,为接运旅客也建成了一条长约 1km 采用 VAL 制式的新交通系统。

城市轨道交通经过较长时间的发展,不同运量等级的线路,有不同形式的交通系统适应;在同一等级线路上,有多种可供选择的交通形式。

#### 8.3.4.7 磁悬浮交通

磁悬浮交通(Magnific Levitation for Transportation)是一种非轮轨黏着传动,悬浮于地面的交通运输系统。磁悬浮列车是利用常导磁铁或超导磁铁产生的吸力或斥力使车辆浮起,用以上的复合技术产生导向力,用直线电机产生牵引动力,使其成为高速、安全、舒适、节能、环保、维护简单、占地少的新一代交通运输工具。

#### 知识延伸

地铁建造:在地底下挖隧道并不是一件容易的事,而且需要大量的金钱和时间,至少要好几年才能完成。

明挖回填:是在街道上挖掘大坑,再在下面建造隧道结构,隧道有足够的承托力后才把路面重新铺上。除了道路被掘开,其他地下结构如电线、电话线、水管等都需要重新配置。建这种隧道的物料一般是混凝土或钢,但较旧的系统也有使用砖块和铁的。

钻挖法:是先在地面某处挖一个竖井,再在井底挖掘隧道。最常见的方法为使用钻挖机(潜盾机、盾构机),一边挖掘一边把预先准备好的组件安装在隧道壁上。对于建筑物高度密集的地方(如香港的香港岛),钻挖法甚至是唯一可行的建造方法。这种方法的优点是对街道或其他地下设施的影响非常小,甚至可在水底建造(伦敦、首尔和香港的城市轨道系统有很多越过河流或海港的隧道);隧道的设计也有较多的创作空间,如车站会比站与站之间的隧道高一些,有助于列车离站时加速以及进站时减速。但这种挖法也存在缺点:一是经常需要留意地下水的影响;二是在一些较硬的岩层开挖,可能需要炸药。地下空气供应问题甚至隧道坍塌亦有可能造成工人伤亡。此外,对于建筑高度密集的地方,挖掘时除了要留意避免对工地四周的建筑结构造成影响外,有时亦要统筹所在的公用事业单位,将地底的输水、输电线进行迁移,以便腾出地方来兴建列车通道。

地铁车站一般采用以下方法建造。

①垂直明挖顺作法:适用于建筑物比较密集、场地条件比较狭窄的基坑或沟槽,如基坑深度较大,地下水位较高,地层基本无承载力,环境保护要求较高,采用放坡开挖难以保证基坑的安全和稳定,可施工围护桩、墙时,采用垂直明挖法施工。

②基坑盖挖顺作法:适用于建筑物比较密集、地面交通繁忙、场地条件比较狭窄且规模较大的基坑工程;对于开挖范围较大、地下水位高、地层自稳能力较差、降水比较困难的地下工程或采用敞口开挖难以保证施工和环境安全时,可考虑采用盖挖顺作法。

③基坑盖挖逆作法:适用于建筑物比较密集、地面交通繁忙、场地条件比较狭窄的深、大基坑或平面形状比较复杂的基坑施工。

### 本章小结

- (1) 铁路线路是由路基、桥隧建筑物和轨道组成的一个整体工程。
- (2) 路基由路基本体、路基防护和加固建筑物、路基排水设备组成。路基本体是直接铺设轨道结构并承受列车荷载的部分,如路堤、路堑等,它是路基工程中的主体建筑物。路基防护和加固建筑物属路基的附属建筑物,如挡土墙、护坡等。排水设备也属路基的附属建筑物,如排除地面水的排水沟、侧沟、天沟和排除地下水的排水槽、渗水暗沟、渗水隧洞等。
- (3) 钢轨采用由轨头、轨腰和轨底三部分组成的宽底式工字形断面。
- (4) 钢轨接头按其对轨枕的位置,分为悬空式和承垫式两种。
- (5) 轨枕的种类,按材料分有木枕、混凝土枕和钢枕;按用途分有普通轨枕、岔枕和桥枕等。
- (6) 常用的道砟材料有:碎石、天然级配卵石、筛选卵石、粗砂及熔炉矿渣等。
- (7) 我国铁路目前采用的防爬设备,基本上采用穿销式防爬器和防爬支撑相结合的方式。
- (8) 根据道岔的用途和构造形式的不同,道岔可分为连接设备、交叉设备、连接与交叉设备。
- (9) 城市轨道交通是指具有固定线路,铺设固定轨道,配备运输车辆及服务设施等的公共交通设施。通常由轨道线路、车站、车辆、维护检修基地、供变电、通信信号、指挥控制中心等组成。
- (10) 轻轨包括3种主要类型:钢轮钢轨系统、线性电机牵引系统和橡胶轮轻轨系统。
- (11) 城市轨道交通是解决城市拥堵诟病,提升居民生活质量的有效途径。其类型主要有:有轨电车、地铁、轻轨、市郊铁路、新交通系统及磁悬浮交通等。

### 独立思考

- 8-1 铁路工程的组成如何?
- 8-2 高速铁路有何特点?
- 8-3 简述城市轨道交通的特点以及它在城市交通中发挥的作用。
- 8-4 地铁与轻轨有何区别?
- 8-5 新交通系统的含义是什么?
- 8-6 市郊铁路与干线铁路是否相同?

### 参考文献

- [1] 魏庆朝. 铁道工程概论. 北京:中国铁道出版社,2011.
- [2] 李明华. 道路与铁道工程施工技术. 湖南:中南大学出版社,2012.
- [3] 叶志明. 土木工程概论. 北京:高等教育出版社,2010.
- [4] 易思蓉. 铁道工程. 北京:中国铁道出版社,2009.
- [5] 刘伯权. 土木工程概论. 北京:科学出版社,2009.

## 9 水利工程

### 【内容提要】

本章主要内容为全球水利资源的分布情况,我国水利资源现状与综合利用原则;水库、水工建筑物的概念、类型及利用,水利枢纽与水工建筑物的关系;水力发电的原理,水电站的类型,及水电站的主要建筑物;我国水利资源综合利用的几个典型实例。本章的重难点是水库及水利枢纽。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应了解全球及我国水利资源的分布现状,挡水、泄水、取水 and 输水建筑物的组成与作用,水电站的类型及主要建筑物。

### 9.1 概 述

#### 9.1.1 水利资源

众所周知,水是一切生命之源。在自然界,水是人类生存和社会发展不可缺少的宝贵自然资源之一。有关水文资料显示,全球水利资源的总量约为 468000 亿立方米,人均水量  $11800\text{m}^3$ 。我国人均水量只有  $2200\text{m}^3$  (1997 年统计资料)。其中,90% 以上的水资源为海水和洋水,其余为内陆水。在内陆水中河流及其径流,对于人类活动起着特别重要的作用。根据有关资料的统计,地球上的河流平均径流量,欧洲占  $3.2 \times 10^{12}\text{m}^3$ 、亚洲占  $1.44 \times 10^{13}\text{m}^3$ 、非洲占  $4.57 \times 10^{12}\text{m}^3$ 、北美洲占  $8.2 \times 10^{12}\text{m}^3$ 、南美洲占  $1.176 \times 10^{13}\text{m}^3$ 、澳洲占  $3.8 \times 10^{11}\text{m}^3$ 、大洋洲占  $2.04 \times 10^{12}\text{m}^3$ 、南极洲占  $2.31 \times 10^{12}\text{m}^3$ 。

雨水除了蒸发的、被土地吸收的和被拦堵的以外,沿着地面流走的水叫径流。渗入地下的水也可以形成地下径流。

我国幅员辽阔、河流众多。据统计,中国大小河流总长约  $4.2 \times 10^5\text{km}$ ;流域面积在  $10 \times 10^6\text{m}^2$  以上的河流有 1600 多条,  $1.0 \times 10^5\text{m}^2$  以上的河流有 5 万多条;大小湖泊 2000 多个。全国平均年降水总量为  $6.19 \times 10^{12}\text{m}^3$ ,年平均径流量约  $2.8 \times 10^{12}\text{m}^3$ ,居世界第六位。

我国水能资源的理论蕴藏量约为  $6.76 \times 10^8\text{kW}$ ,是世界上水能资源最丰富的国家之一。但在时间分配和区域分配上很不均匀。绝大部分的径流发生在每年 7—9 月(汛期),而有些河流在冬天则处于干枯状况。大部分径流分布在我国东南、西南及沿海各省,而西北地区干旱缺水。近年来,我国北方地区经常发生的沙尘暴与干旱缺水气候有一定的关系。

上述情况给水资源的利用造成了很大的困难,因此要人为地重新分配径流,就必须修建水利工程,以除害兴利,造福于人类。所谓水利工程,就是对自然界的地表水和地下水进行控制和调配,以达到除害兴利之目的而修建的工程。图 9-1 为水库大坝。

水利是经济社会发展的基本条件、基础支撑、重要保障,兴水利、除水害历来是治国安邦的大事。



图 9-1 水库(拱坝)

我国著名的水利工程——四川省灌县都江堰水利工程,就是李冰父子在公元前 256—公元前 251 年带领广大劳动人民修建的综合利用水利资源的典型之作,如图 9-2 所示。该工程为无坝引水工程,利用鱼嘴分洪、飞沙堰泄洪排沙、宝瓶口引水,现今可灌溉农田 1000 多万亩。



图 9-2 都江堰水利枢纽工程

研究水利资源利用的一般理论、设计、施工和管理问题的应用科学,称为水利工程学。

水利资源在国民经济中的利用,主要为:水上运输、水力发电,居民区、工矿企业供水,向干旱地区输水、灌溉与排水,水产,养殖,旅游开发等。

水利事业是研究自然界水利资源及利用它满足国民经济建设需要的各项事业。水利事业的主要内容:

- ①水力发电——利用河流及潮汐的能量发电;
- ②水上运输——利用河流、湖泊、海洋行船和漂木;
- ③农田水利——利用水灌溉农田和排除多余之水;
- ④治河防洪——整治河道,防洪、防涝、防水土流失;
- ⑤供水和下水(给水排水)——居民区、工矿企业的给水和废水污水的排放;
- ⑥水产养殖——利用水资源经营渔港、鱼塘及修建各种过鱼建筑物;
- ⑦旅游开发——利用水利资源进行旅游资源开发,增加国民收入,提高人民生活质量。



我国开发水利资源的总原则:综合利用。图 9-3 就是水利资源综合利用的一个实例。

在规划设计水利工程时,不仅要考虑当前水源(河流来水)的利用,而且还要考虑将来我国国民经济各部门的各种需要(即要考虑水利资源开发的可持续发展)。

水既是重要资源又是环境要素,良好的水环境是维持生态平衡的基础条件。无论是自然因素还是人为因素,使水环境退化或恶化,都将引发生态问题,如河湖萎缩、水体污染、地下水衰竭、水土流失、海水入侵以及生物物种减少等。实践证明,人类在对自然界进行开发利用的同时,必须重视水环境的保护,学会与自然和谐相处,不然人类必将受到自然界的惩罚而付出惨重代价。

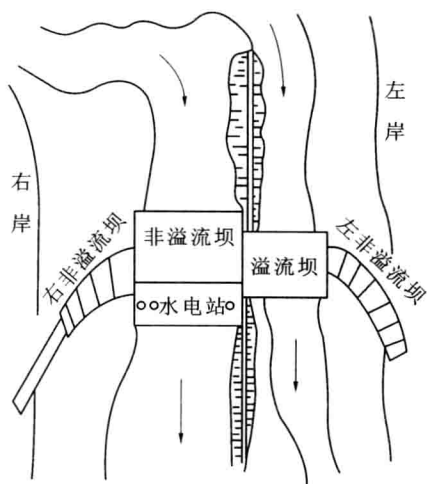


图 9-3 水利资源综合利用实例图

### 9.1.2 南水北调工程

由于我国是一个严重缺水的国家。在全国范围内,南方的水相对多于北方,但南方的人口和土地并不比北方多很多。因此,解决北方缺水的一个重要途径便是南水北调。

南水北调总体规划推荐东线、中线和西线三条调水线路。通过三条调水线路与长江、黄河、淮河和海河四大江河的联系,构成以“四横三纵”为主体的总体布局(四横是指长江、黄河、淮河和海河四大江河,三纵是指南水北调东线、中线和西线三条调水线路),以利于实现我国水资源南北调配、东西互济的合理配置格局,旨在缓解北方水危机,实现南北经济齐飞。

跨流域调水工程是人类运用现代科学技术,改造自然,改变人类生存环境,保护生态平衡和促进经济发展的伟大壮举。南水北调工程的兴建对华北的经济环境、生态环境以及社会环境都将带来巨大的改善,并带动全国经济和社会的持续发展与稳定。

南水北调是一项艰巨而浩大的工程,国家对南水北调已做了许多勘察、规划、研究、论证、设计等工作,部分工程已进入了施工阶段。预计工程总投资 5000 多亿元,工期 15 年,每年向北方调水  $4.5 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,等于一条黄河的水量,是人类有史以来规模最大的水利工程。南水北调工程的三条线路概况如下。

#### (1) 南水北调东线工程

东线工程从江苏扬州抽引长江水,水源丰富。利用京杭大运河及与其平行的河道逐级提水北送,并连接起调蓄作用的洪泽湖、骆马湖、山东南四湖、东平湖,在山东东阿县的位山穿过黄河,一路沿北运河北上到达天津,全线总长 1150km。另一路出东平湖后向东,通过胶东地区输水干线经济南输水到烟台、威海。东线工程从长江抽水  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上,到达天津时为  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 。东线工程的主要目的是向沿途及天津等大城市供水,并可灌溉沿线农田 7000 万亩以上。

#### (2) 南水北调中线工程

中线工程考虑从汉水的丹江口水库(一期、二期工程)的陶岔渠首闸引水及长江三峡地区引水(三期工程),经由湖北、河南、河北,在郑州以西孤柏嘴处穿过黄河,继续沿京广铁路西侧北上,直到北京市。中线工程和东线工程一道解决黄淮海平原的缺水问题,耕地面积 1 亿多亩。中线工程竣工后年引水量  $30 \times 10^{10} \text{ m}^3$  以上,全线总长 1236km。中线工程的最大优点是水质有保证,且供水范围大。



### (3) 南水北调西线工程

西线工程设想(自流引水)方案是在通天河的联叶修建 400m 的高坝,经穿山隧道将水引入雅砻江上游,并在雅砻江的仁青岭修建 300m 的高坝,再经穿山隧道将水引入黄河上游的章安河,其后沿黄河下放,全线长约 650km,其中隧道长约 210km(可见工程的艰巨性)。这三条河上游每年调入黄河的总水量约  $2.0 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,供水目标主要是解决涉及青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西 6 个省(自治区)黄河中上游地区和渭河关中平原的缺水问题。结合兴建黄河干流上的骨干水利枢纽工程,还可以向邻近黄河流域的甘肃河西走廊地区供水,必要时也可向黄河下游补水。南水北调工程线路如图 9-4 所示。

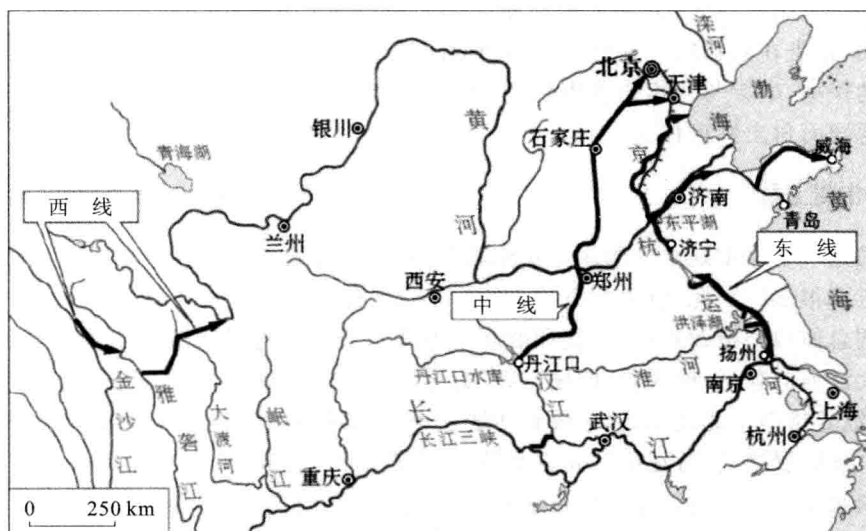


图 9-4 南水北调工程线路图

## 9.2 水库及水利枢纽

### 9.2.1 水库

水库是指采用工程措施在河流或各地的适当地点修建的人工蓄水池。

水库的实例很多,如四川省仁寿县的黑龙滩水库、简阳市的三岔水库、北京的十三陵水库、重庆市的狮子滩水库、四川省都江堰市的紫坪铺水库、海南省儋州市的松涛水库等。

#### (1) 水库的作用

水库是综合利用水利资源的有效措施。它可使地面径流按季节和需要重新分配,根除干旱、水涝灾害,可利用大量的蓄水和形成的水头为国民经济各部门服务。

#### (2) 水库的组成

水库一般由下面几部分组成:

①拦河坝——挡水建筑物的一种,是组成水库最基本的建筑物。其主要作用是拦截河道、拦蓄水流、抬高水位。

②泄水建筑物——主要作用是宣泄水库中多余的水量,以保证大坝安全。

③取水、输水建筑物——为满足用水要求,从水库中取水并将水输送到电站或灌溉系统的水工

建筑物。其水库的组成如图 9-5 所示。

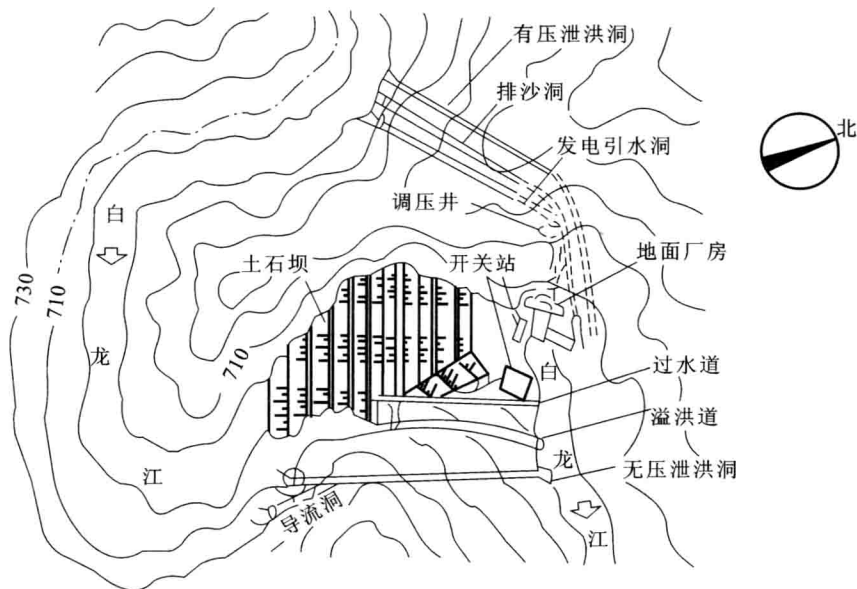


图 9-5 某水库组成示意图

水库建成后,尤其是大型水库建成后,将使水库周围的环境发生变化。主要表现在下述几方面:

①库区。

a. 淹没。库区水位抬高,淹没农田、房屋,移民安置。

b. 坍岸、滑坡。

c. 水库淤积。库内水流流速减低,造成泥沙淤积、库容减少,影响水库的使用年限。

d. 水温的变化。蓄水温度降低。

e. 水质变化。一般水库都有使水质改善的效果,但是应防止库水受盐分等的污染。

f. 气象变化。下雾频率增加,雨量增加,湿度增大。

g. 诱发地震。在地震区修建水库时,在坝高超过 100m,库容大于  $1.0 \times 10^9 \text{ m}^3$  的水库中,发生水库地震的达 17%。

h. 库区内可形成沼泽、耕地盐碱化等。

②水库下游。

a. 河道冲刷。水库淤积后,清水下泄会对下游河床造成冲刷,因水流流势变化会使河床发生演变以致影响河岸稳定。

b. 河道水量变化。水库蓄水后下游水量减少,甚至干枯。

c. 河道水温变化。由于下游水量减少,水温一般要升高。

(3)水库库址选择

水库库址选择的关键是坝址的选择,应充分利用天然地形。

①地形。河谷尽可能狭窄、库内平坦广阔,但上游两岸山坡不要太陡或过分平缓;要有足够的积雨面积;要有较好的开挖泄水建筑物的空间;要尽量靠近灌区,地势要比灌区高,以便形成自流灌溉,节省投资。

②地质条件。它是保证工程安全的决定性因素。

③水库库容。主要根据河流(来水情况)水文情况及国民经济各需水部门的需水量之间的平衡关系,确定各种特征水位及库容。

库容组成、水位-库容曲线如图 9-6、图 9-7 所示。

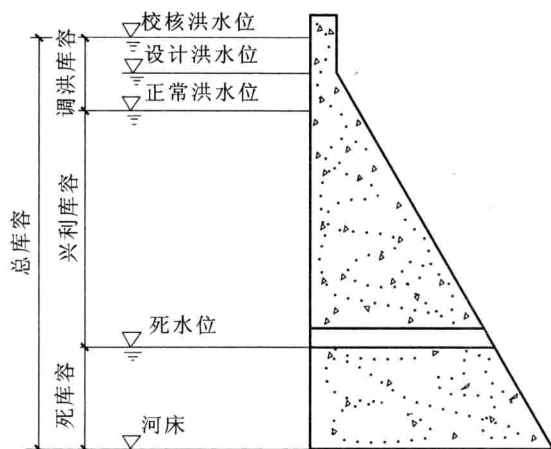


图 9-6 库容的组成

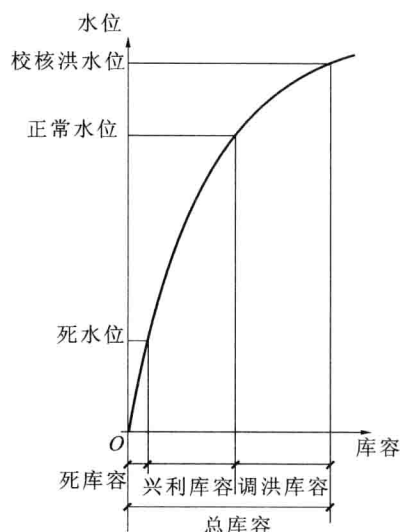


图 9-7 水位-库容曲线图

## 9.2.2 水利枢纽与水工建筑物

### (1)水利枢纽

为了综合利用水利资源,使其为国民经济各部门服务,充分达到防洪、灌溉、发电、给水、航运、旅游开发等目的,必须修建各种水工建筑物以控制和支配水流,这些建筑物相互配合,构成一个有机的、综合的整体,这种综合体称为水利枢纽。水利枢纽根据其综合利用的情况,可以分为以下三大类。图 9-8 为葛洲坝水利枢纽布置图。

①防洪、发电水利枢纽。防洪、发电水利枢纽包括蓄水坝、溢洪道、水电站厂房。

②灌溉、航运水利枢纽。灌溉、航运水利枢纽包括蓄水坝、溢洪道、进水闸、输水道(渠)、船闸。

③防洪、灌溉、发电、航运水利枢纽。防洪、灌溉、发电、航运水利枢纽包括蓄水坝、溢洪道、水电站厂房、进水闸、输水道(渠)、船闸。

### (2)水工建筑物的特点

水工建筑物与一般土建工程相比,除了投资多、工程量大、工期长以外,还具有以下特点。

①水对水工建筑物的作用。

机械作用:静水压力、动水压力、渗透压力等。

物理化学作用:磨损、溶蚀等。

②水工建筑物的个别性:直接与水接触,有别于其他建筑物。

③水工建筑物施工难度大。

④施工导流,工程进度的时间紧迫(如大坝截流、度汛,争时间、抢进度等)。

⑤效益大、对附近地区影响大。

⑥水库发生事故后果严重。

### (3)水工建筑物的类别

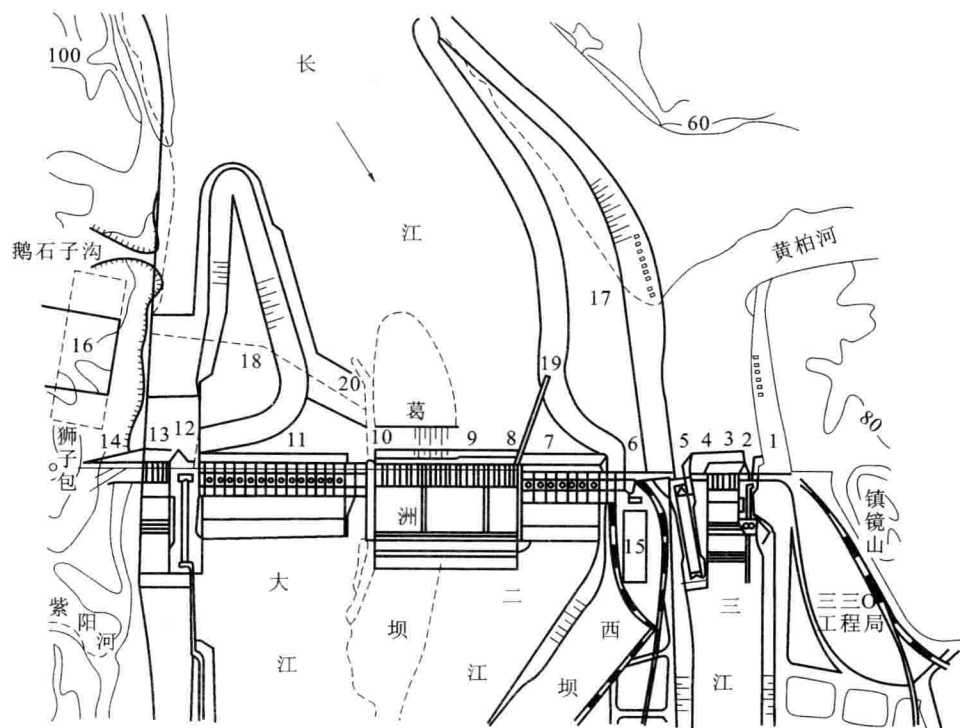


图 9-8 葛洲坝水利枢纽平面布置示意图

- ①一般水工建筑物。
  - a. 挡水建筑物: 拦河坝、水闸、堤防。
  - b. 泄水建筑物: 溢洪道、泄洪洞、坝身泄水孔。
  - c. 取(进)水、输水建筑物: 进水闸、渠道、渡槽、隧洞、抽水站。
- ②专门水工建筑物。
  - a. 水电站建筑物: 压力前池、调压室、电站厂房。
  - b. 水利土壤改良建筑物: 节制闸、沉沙池、灌溉、排水渠系、滤水、排水设施、积水设施等。
  - c. 水运建筑物: 船闸、升船机、系船建筑物、码头、港口、漂木、筏道建筑物及其设施。
  - d. 供水、污水工程建筑物, 渔业建筑物。

(4) 水利水电工程分等、水工建筑物分级

水利水电工程的分等和水工建筑物的分级主要根据工程规模、总库容、防洪标准、灌溉面积、电站装机容量、主要建筑物、次要建筑物、临时建筑物的情况确定。

水利水电工程的等级分为五等, 见表 9-1。水工建筑物的级别分为 5 级, 见表 9-2。

表 9-1 水利水电工程分等指标

工程 等别	工程 规模	水库 总库容 / $\times 10^8 \text{ m}^3$	防洪		治涝	灌溉	供水	发电
			保护城镇及工 矿企业重要性	保护农田 /万亩	治涝面积 /万亩	灌溉面积 /万亩	供水对象 重要性	装机容量 / $\times 10^4 \text{ kW}$
I	大(1)型	$\geq 10$	特别重要	$\geq 500$	$\geq 200$	$\geq 150$	特别重要	$\geq 120$
II	大(2)型	$10 \sim 1.0$	重要	$500 \sim 100$	$200 \sim 60$	$150 \sim 50$	重要	$120 \sim 30$

续表								
工程 等别	工程 规模	水库 总库容 / $\times 10^8 \text{ m}^3$	防洪		治涝	灌溉	供水	发电
			保护城镇及工 矿企业重要性	保护农田 /万亩	治涝面积 /万亩	灌溉面积 /万亩	供水对象 重要性	装机容量 / $\times 10^4 \text{ kW}$
Ⅲ	中型	1.0~0.1	中等	100~30	60~15	50~5	中等	30~5
Ⅳ	小(1)型	0.1~0.01	一般	30~5	15~3	5~0.5	一般	5~1
Ⅴ	小(2)型	0.01~0.001		<5	<3	<0.5		<1

表 9-2 永久性水工建筑物的级别

工程等别	永久性建筑物的级别	
	主要建筑物	次要建筑物
Ⅰ	1	3
Ⅱ	2	3
Ⅲ	3	4
Ⅳ	4	5
Ⅴ	5	5

9.2.3 挡水建筑物

挡水建筑物主要是拦河坝,是指拦断河流、抬高水位以形成水库的建筑物。

根据筑坝材料的不同,拦河坝可分为:混凝土坝、钢筋混凝土坝、砌石坝、土石坝等。根据大坝的工作特点,拦河坝又可分为:重力坝、拱坝、土石坝、支墩坝、面板坝等。一般习惯将拦河坝分为:土石坝、砌石坝、混凝土坝、支墩坝、拱坝等。

(1)重力坝

重力坝是指坝身稳定且由坝体自重维持的坝。重力坝包括混凝土重力坝和砌石重力坝。

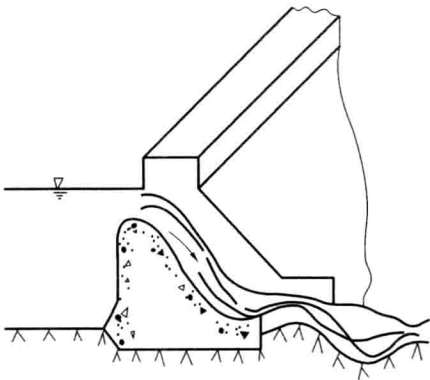


图 9-9 重力坝横剖面示意图

图 9-9 为一混凝土重力坝横剖面示意图。重力坝的结构特点是结构简单、施工方便、工作可靠、应用广泛。

目前世界上最高的混凝土重力坝是瑞士的大狄克逊坝,最大坝高达 285m。我国修建的坝高 50m 以上的坝有几十座。其中,黄河上游的刘家峡混凝土重力坝,坝高 147m;贵州省乌江渡混凝土拱形重力坝,坝高 165m;长江三峡水利枢纽工程的混凝土重力坝,坝高 181m,坝长 2309.47m。

砌石重力坝是指用石料砌筑的重力坝。例如,四川省仁寿县境内的黑龙滩水库就是一座浆砌条石重力坝,库容大于  $3.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,以灌溉农田为主。

重力坝坝基的适应能力较强,但温度、基岩变形影响较大。

(2)拱坝

拱坝的类型主要有砌石拱坝和混凝土拱坝,图 9-10 为拱坝的示意图。

①拱坝的工作特点。

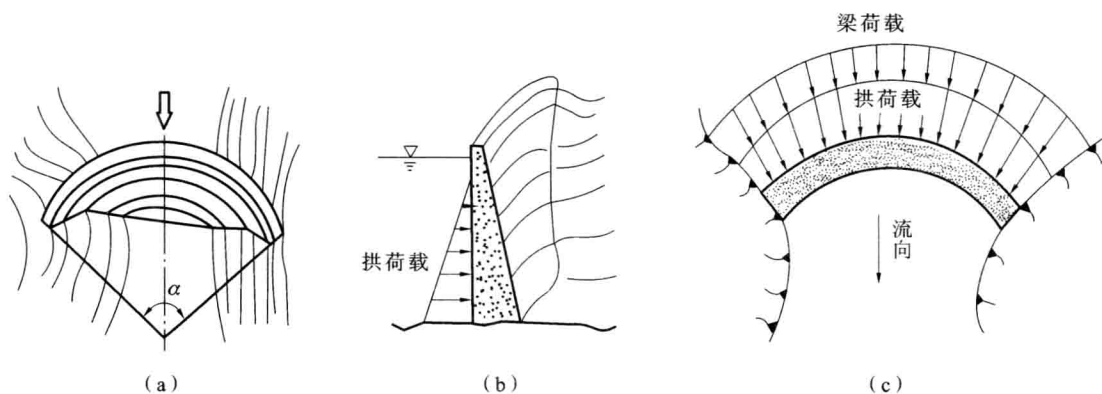


图 9-10 拱坝示意图

(a) 拱坝平面图; (b) 拱坝垂直剖面图; (c) 拱坝水平截面图

拱坝实际上是一个空间壳体结构,平面上呈拱形。坝体承受的水平外荷载一部分通过拱作用传给两岸基岸,另一部分通过垂直梁的作用传到坝底基岩。坝体稳定性主要是依靠两岸拱端的反力作用(拱坝工作的一个主要特点)维持。

拱是一个推力结构,在外荷载作用下主要承受轴向力,这样有利于发挥混凝土或砌石材料的抗压强度。拱的作用发挥越充分,材料(抗压)强度的特点越能充分发挥出来,拱体可减薄,节省材料。拱是一种优越的坝型。因为拱是推力结构,因此要求两岸基岩要好。

目前,较高的拱坝有前苏联的英古里混凝土双曲拱坝,坝高 272m。我国在雅砻江上修建的二滩水电站,大坝为混凝土双曲拱坝,坝高 240 多米。砌石拱坝也较多,如四川省威远县境内的长沙坝,坝高 50 多米。

拱坝的特点是坝体轻韧、弹性较好。若基岩稳定,则其抗震性能好。

## ② 拱坝形式。

拱坝形式有:定圆心等半径式拱坝(圆弧拱);定圆心定中心角式拱坝;变半径式拱坝;双曲拱坝。

## (3) 土石坝

土石坝是最古老的坝型,在坝工建筑中被广泛采用。

远在纪元前,中国、印度、埃及等国家便开始使用这种坝型。随着筑坝技术提高,土坝高度也不断增高。全世界高度在 100m 以上的土坝有数十座。我国坝高 15m 以上的大、中、小型土石坝数量约 1.7 万座。如四川省简阳市的三岔水库,坝顶长 1000 多米。

## ① 土石坝的优点。

土石坝可就地取材、结构简单,便于维修、加高、扩建,地质条件要求较低,适应地基变形能力强,施工技术简单、工序少,便于机械化施工,修建经验丰富。

## ② 土石坝的缺点。

不能坝顶溢流,要另设溢洪道,导流不方便,黏土材料的填筑受气候条件影响。

## ③ 土石坝的类型。

土石坝的类型按施工方法分为碾压式土坝、水中填土坝、水力冲填坝。我国绝大多数为碾压式土坝。碾压式土坝根据土石料的组合和防渗设施的位置不同,可分为以下几种基本形式。

a. 均质土坝。坝体由单一的、具有黏性的土料构成整个坝体,坝体本身具有防渗作用。

- b. 多种土质坝。坝体由多种性质明显不同的土料构成。
  - c. 心墙坝。防渗设施位于坝体中部,两侧为透水较强的砂土、上皮土(风化土)等。
  - d. 斜墙坝。防渗设施为倾斜的,位于坝体上游面。
- 土石坝横剖面图如图 9-11 所示,实例如图 9-12 所示。

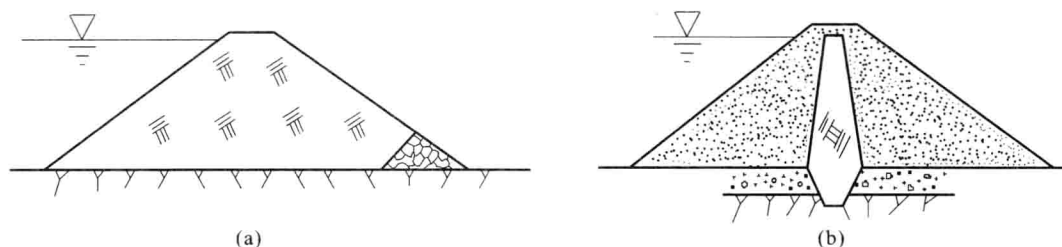


图 9-11 土坝横剖面图  
(a)均质土坝;(b)黏土心墙坝

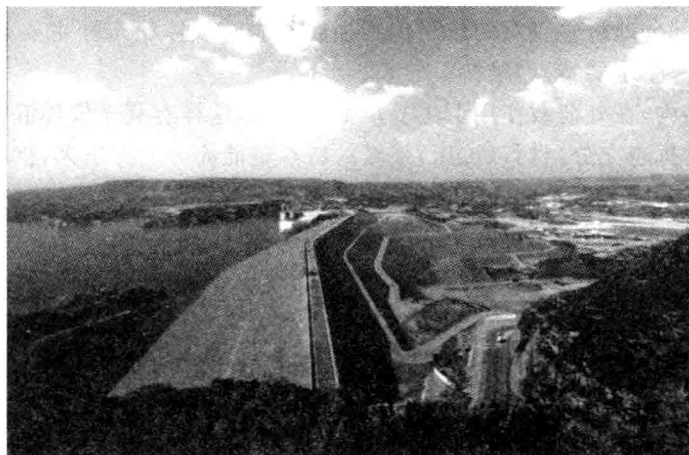


图 9-12 小浪底水利枢纽工程(土石坝)

#### 9.2.4 泄水、取水和输水建筑物

##### ①泄水建筑物。

泄水建筑物用以宣泄水库不能容纳的多余水量,可与坝体结合在一起,也可单独设在坝体外。岸边式溢洪道是一种采用较多的泄水建筑物。

##### ②取水建筑物和输水建筑物。

取水建筑物和输水建筑物是为保证用水部门的需要,不断地平稳引水而修建的水工建筑物。如进水闸、输水渡槽、引水隧洞、渠道工程等。如图 9-13 所示。

##### ③渠道及渠系建筑物。

为了灌溉农田、水力发电、工业及生活输水用的、具有自由水面的人工水道,称为渠道。为了安全合理地输配水量以满足农田灌溉、水力发电、工业及生活用水的需要,在渠道上修建的水工建筑物,统称为渠系建筑物。

渠系建筑物包括渠道、渡槽、倒虹吸管、涵洞、引水隧洞等。



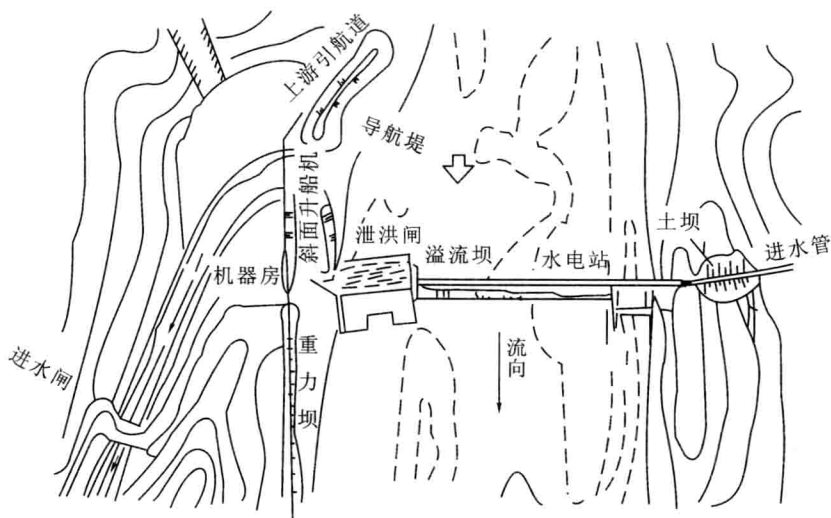


图 9-13 韶山灌区引水枢纽布置图

### 9.3 水电站建筑物

水电建设是一项改造自然的宏伟事业,是国民经济获得动力能源的重要途径。全球水能资源理论蕴藏量约  $3.99 \times 10^{13} \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 技术可开发量约  $1.46 \times 10^{13} \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 经济可开发量约  $8.7 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。截至 2010 年年底,全球水电装机容量超过  $1.0 \times 10^9 \text{ kW}$ , 年发电量超过  $3.6 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 开发程度约为 25%(按发电量计算)。根据 2003 年完成的我国水能资源普查资料,全国总水能蕴藏量(含台湾省)为  $6.76 \times 10^8 \text{ kW}$ , 折合年发电量为  $5.9 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。其中可开发的总装机容量为  $3.8 \times 10^8 \text{ kW}$ , 年发电量为  $1.9 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 居世界第一位。

据统计,截至 2010 年年底,我国水电站总装机容量超过  $2.16 \times 10^8 \text{ kW}$ , 年发电量  $6.867 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。目前已经建成的和正在修建的水电发电量只占技术可开发的水能资源的 5.9%, 因此我国水能资源开发的潜力相当大。

水力发电就是通过水工建筑物和动力设备将水能转变为机械能,再由机械能转变为电能。流量的大小和水头的高低是影响水力发电的两个主要因素。因此,当水流量不大时,集中落差形成水头是一种较好的水能开发措施。图 9-14 为一水电站横剖面图。

水电站的分类如下。

①河床式水电站。在平坦河段上,用低坝建筑的水电站,由于水头不高,电站厂房本身能抵抗上游水压力,通常和坝并列在同一轴线上,成为挡水建筑物的一个组成部分,因此称为河床式水电站,如图 9-15 所示。

②坝后式水电站。当水头较高,上游水压力很大,厂房重量已不足以承受,也很难维持自身稳定,此时可将厂房与坝体分开,将厂房布置在坝的后面,此类电站便称为坝后式水电站。一般在坝后靠河岸一侧,如图 9-16 所示。

③引水式水电站。水头相对较高,常用引水渠、引水隧洞、管道等将水引进厂房发电,流量较小,大多在河流上游采用,如图 9-17 所示。

④混合式水电站。在同一河段上水电站的水头一部分由水坝集中,而另一部分由引水渠集中,此种布置方式的电站称为混合式水电站,如图 9-18 所示。

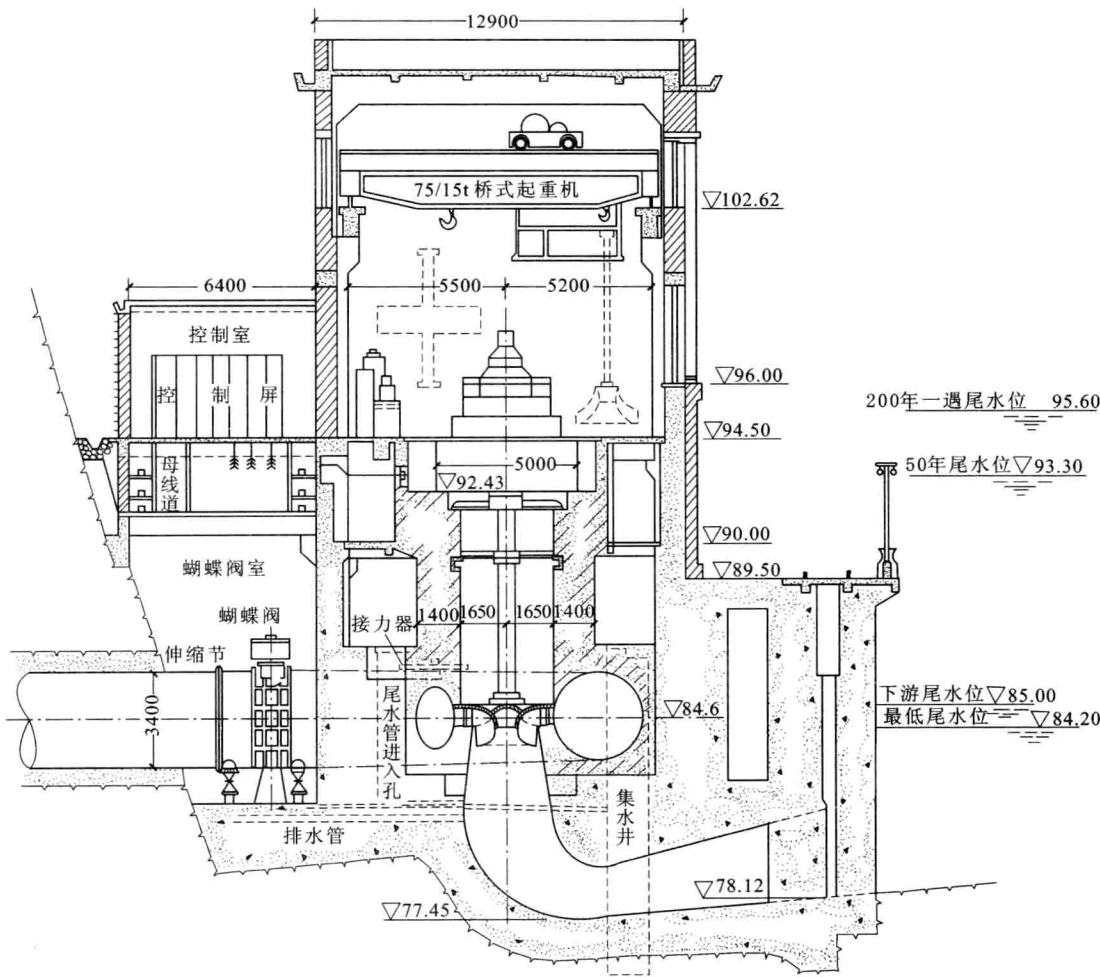


图 9-14 水电站横剖面图

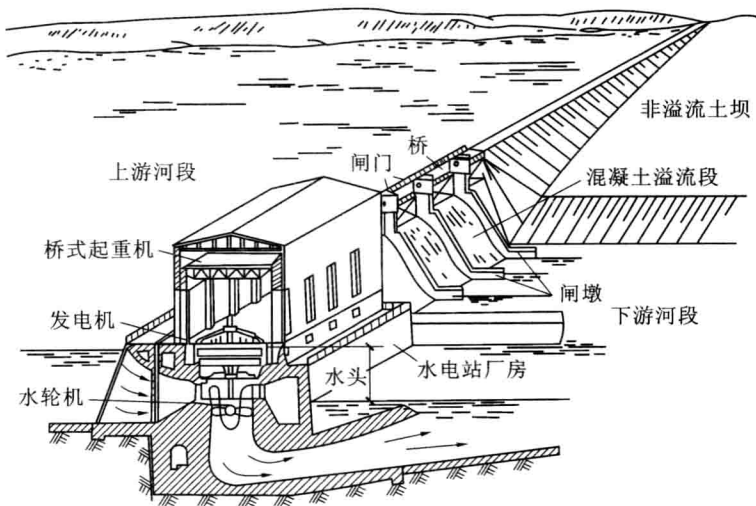


图 9-15 河床式水电站

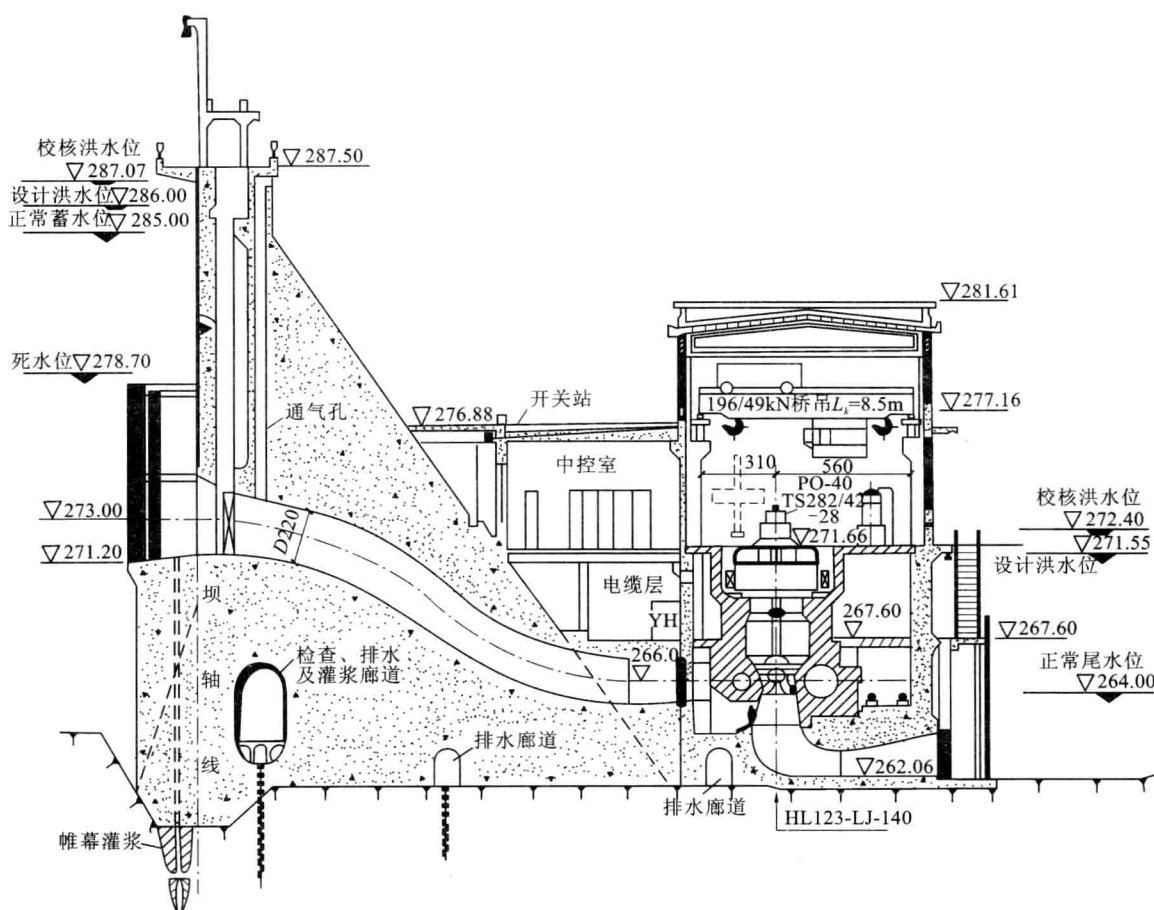


图 9-16 坝后式水电站

⑤抽水蓄能电站。抽水蓄能电站是采用抽水方式集中水头进行发电的电站。在系统负荷较低时,利用富裕的电量把水从较低的水库(下池)中抽到较高的水库(上池)中储存起来,而在系统要承担高峰负荷时,再把水从上池中放出来进行发电。如北京十三陵抽水蓄能电站,其装机容量为  $8.0 \times 10^5 \text{ kW}$ ;广东抽水蓄能电站装机容量为  $2.4 \times 10^6 \text{ kW}$ ;天荒坪抽水蓄能电站,装机容量为  $1.8 \times 10^6 \text{ kW}$ 。

⑥潮汐电站。通常在有条件的海岸边,选择口小肚大的海湾,在海湾口门处修筑拦水坝,同时修建双向发电电站(可逆发电机组)以及双向泄水闸门。当涨潮时,外海潮水位高于湾内水位,此时将外海水经过电站发电;当退潮时,外海潮水下落水位降低,湾内之水经电站反向流至外海发电,故一次涨退潮便可发电两次。我国沿海海岸线长约  $1.8 \times 10^4 \text{ km}$ ,据估计可开发的潮汐发电量约  $2.158 \times 10^7 \text{ kW}$ 。

另外,利用大海波浪的能量发电也是一种获得电能的途径。如挪威已有波浪电站的试验电站,也获成功。

由前述可知,水电站建筑物主要包括引水渠、隧洞、前池、调压井(塔)、压力水管、厂房等。

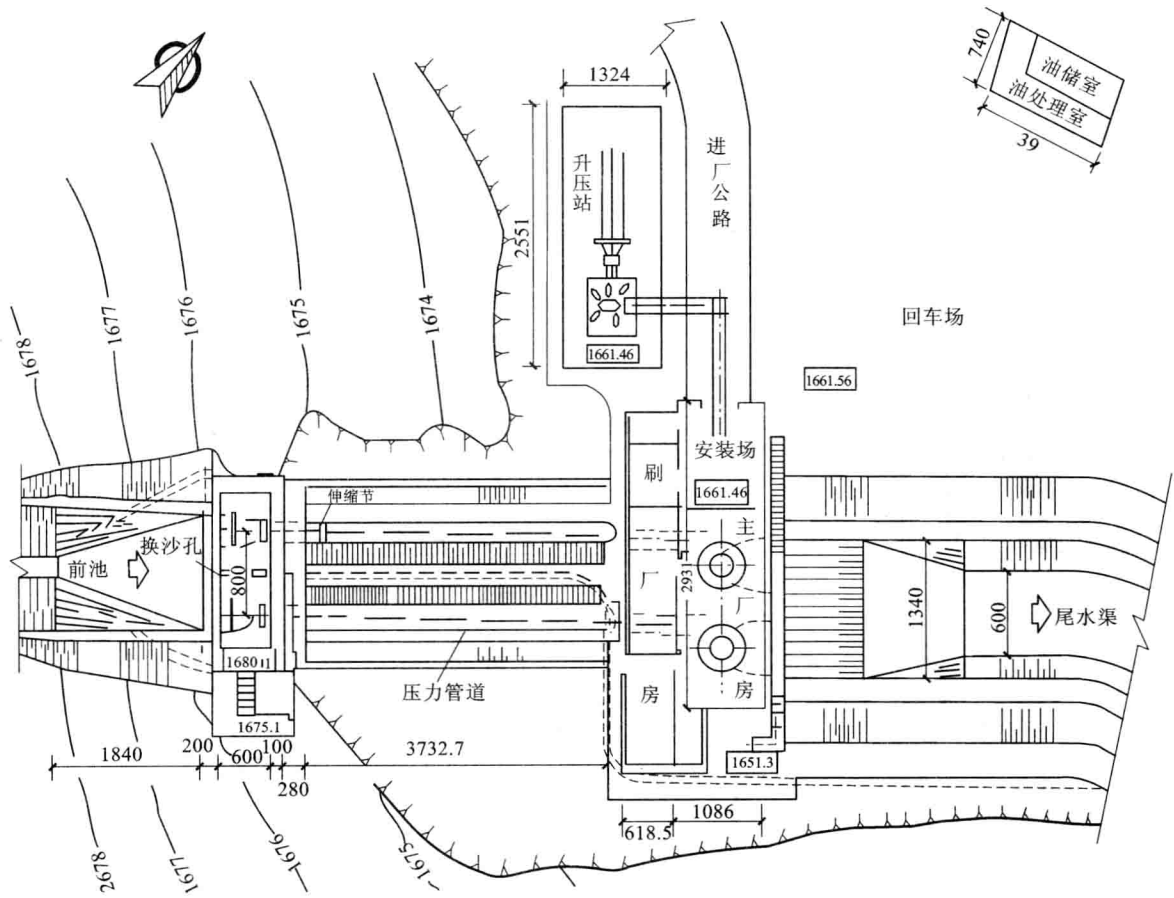


图 9-17 引水式水电站平面布置图

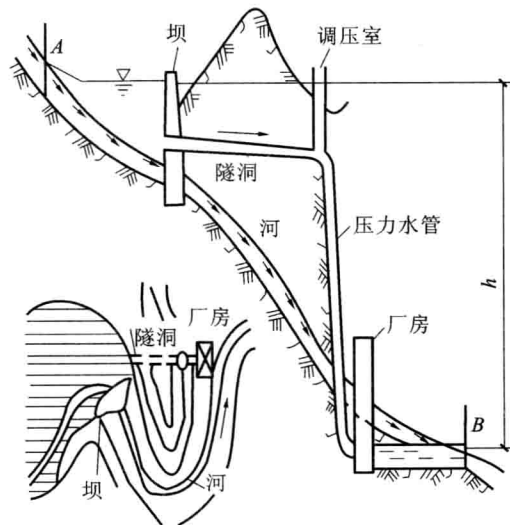


图 9-18 混合式水电站

## 9.4 我国几个典型的水利枢纽工程实例

### (1) 葛洲坝水利枢纽工程

葛洲坝水利枢纽工程于 1986 年建成,位于长江中游湖北省宜昌段,主要作用为通航、发电、防洪。电站装机容量为  $2.715 \times 10^6 \text{ kW}$ ,水库库容  $1.58 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,整个工程混凝土用量为  $9.83 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。如图 9-19 所示。



图 9-19 葛洲坝水利枢纽工程

### (2) 龙羊峡水电站

龙羊峡水电站位于黄河上游,电站总装机容量  $1.28 \times 10^6 \text{ kW}$ ,混凝土拱坝,坝高 178m,水库库容为  $2.47 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。

### (3) 二滩水电站

二滩水电站位于四川省攀枝花市附近雅砻江上,坝高 240 多米,混凝土双曲拱坝。总库容  $5.8 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,调节库容为  $3.37 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。装机容量  $3.30 \times 10^6 \text{ kW}$ ,年发电量  $1.70 \times 10^{10} \text{ kW} \cdot \text{m}$ ,占川渝电网总供电量的 1/4。世界银行贷款 9.3 亿美元,汇集了 40 多个国家和地区的水电建设者,于 2002 年竣工,总投资 103 亿元人民币。

### (4) 紫坪铺水利枢纽工程

紫坪铺水利枢纽工程位于四川省都江堰市城西北 9 千米处,岷江上游,库容  $1.112 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,多年调节水库,成都水源得到较大改善。该工程是以灌溉、供水为主,兼发电、防洪、环保和旅游等综合效益的水利工程。面板坝(坝体主要由砂夹石填筑),最大坝高 156m,电站装机容量  $7.6 \times 10^5 \text{ kW}$ 。2006 年 5 月竣工,投资 62.36 亿元。如图 9-20 所示。

### (5) 长江三峡水利枢纽工程

长江三峡水利枢纽工程位于湖北省境内长江西陵峡的三斗坪,下游距葛洲坝工程 38km,是一座具有防洪、发电、航运、养殖、供水等巨大综合利用效益的特大型水利工程。该工程由拦江大坝、水电站和通航建筑物 3 部分组成。库容为  $3.93 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,坝高 181m,坝体混凝土用量  $1.527 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,装机容量为  $1.82 \times 10^6 \text{ kW}$ (另右岸地下厂房装有 6 台  $7.0 \times 10^5 \text{ kW}$  的发电机组)。双线五级船闸,总水头 113m,是世界上最大的水电站,相当于 10 座大亚湾核电站,每年可代替原煤  $4.0 \times 10^7 \sim 5.0 \times 10^7 \text{ t}$ ,可供电华东、华中、华南,少部分送重庆市。三峡工程规模巨大,混凝土浇筑量达到  $2.8 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。用钢材和钢筋 60 多万吨,最高峰的混凝土年浇筑量达  $5.48 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,月浇筑量最高达  $5.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。2009 年竣工(总工期 15 年),总投资约 2100 亿元人民币(含移民 110 多万人,投资 400 多亿元)。三峡水利枢纽工程全景见图 9-21。



图 9-20 紫坪铺水库

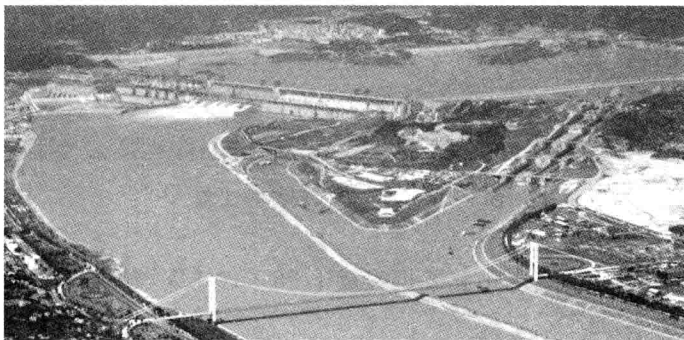


图 9-21 三峡水利枢纽工程全景图

#### (6) 溪洛渡水电站

溪洛渡水电站位于四川省雷波县与云南省永善县境内金沙江干流上的溪洛渡河谷段。2005 年 12 月 26 日开工,计划 2015 年竣工(总工期约 10 年)。总库容  $1.267 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,其中防洪库容  $4.65 \times 10^9 \text{ m}^3$ ;总装机容量  $1.26 \times 10^7 \text{ kW}$ ,静态投资 503.4 亿元人民币;混凝土拱坝,高 278m,蓄水高程海拔 600m。建成后仅次于三峡水利枢纽工程,位居全国第二位,世界第三位。该电站混凝土拱坝见图 9-22。

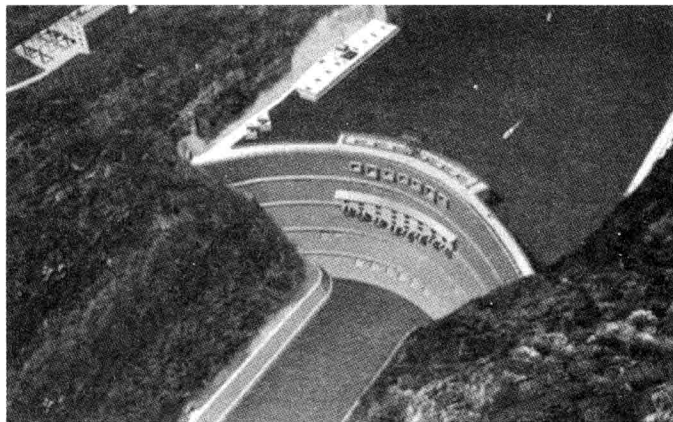


图 9-22 溪洛渡混凝土拱坝

## 9.5 水利水电工程的建设动向

我国水利水电建设虽已取得较大成就,但是随着国民经济的快速发展,仍然不能满足需要。在新形势下,我国经济社会发展和人民生活改善对水提出了新的要求,经济发展和水资源的矛盾更加突出,水对经济安全、生态安全、国家安全的影响更加突出,成为制约可持续发展的重要因素。例如,2010年我国西南地区发生特大干旱,多数省区市遭受洪涝灾害,部分地方突发严重山洪、泥石流,充分反映了上述问题的严重性,加快水利改革发展刻不容缓。

### (1) 水利建设发展规划

①我国在近期内水利建设需要完成的四项主要任务:a.突出加强农田水利建设;b.着力加强防洪薄弱环节建设;c.大力提高城乡供水保障能力;d.加快构建水生态安全保障体系。

②国家到2015年水利建设的主要目标是:全面解决2.98亿农村人口和11.4万所农村学校的饮水安全问题;水利工程新增年供水能力 $4.0 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,新增农田有效灌溉面积4000万亩;全国用水总量力争控制在 $6.35 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 以内,单位工业增加值用水量比2010年下降30%以上,农田灌溉水有效利用系数提高到0.53以上,重要江河、湖泊水功能区水质达标率提高到60%以上;新增水土流失综合治理面积 $2.5 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,初步改善生态环境脆弱地区及重点河、湖的生态环境用水状况。

③预计到2020年,基本建成防洪、抗旱、减灾体系,重点城市和防洪保护区防洪能力明显提高,中、小河流得到有效治理,基本建成山洪地质灾害防治区防灾减灾体系;抗旱能力显著增强,重点地区、重要城市和旱灾易发区的水资源供需矛盾得到明显改善。基本建成水资源合理配置和高效利用体系,全国用水总量力争控制在 $6.7 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 以内,城乡供水保证率显著提高,城乡居民饮水安全得到全面保障。基本建成水资源保护和河湖健康保障体系,主要江河、湖泊水功能区水质明显改善,城市污水处理率进一步提高,城镇供水水源地水质全面达标,重点区域水土流失得到有效治理,生态脆弱地区及重点河、湖的生态环境用水状况得到明显改善,地下水超采基本遏制。基本建成有利于水利科学发展的制度体系,最严格的水资源管理制度基本建立,完成江河水量分配方案,流域综合管理成为流域管理和区域管理的基本模式。

### (2) 水电建设发展规划

水能是清洁的可再生能源,具有技术成熟、成本低廉、运行灵活的特点,世界各国都把水电发展放在能源建设的优先位置。我国水能资源丰富,总量居世界首位,但目前开发利用程度较低。加快开发利用丰富的水能资源是有效增加清洁能源供应、优化能源结构、保障能源安全、应对气候变化、实现可持续发展的重要措施。从我国能源特点来看,加快水电发展是实现2020年非化石能源发展目标的必由之路,也是有效降低单位国民生产总值二氧化碳排放量的重要措施。

为了实现2015年和2020年非化石能源分别占一次能源消费比重11.4%、15%的目标,水电建设的主要目标体现在以下几个方面:

①到2015年,水电总装机容量达到 $2.9 \times 10^8 \text{ kW}$ (抽水蓄能 $0.3 \times 10^8 \text{ kW}$ ),年发电量 $9.1 \times 10^{11} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ,折合标煤约 $3.0 \times 10^8 \text{ t}$ ;到2020年水电总装机容量达到 $4.2 \times 10^8 \text{ kW}$ (抽水蓄能 $0.7 \times 10^8 \text{ kW}$ ),年发电量 $1.2 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ,折合标煤约 $4.0 \times 10^8 \text{ t}$ 。“西电东送”能力不断扩大,到2015年水电送电规模超过 $8.4 \times 10^7 \text{ kW}$ 。

②环境友好的水电开发和河流生态环境修复技术取得新的突破,主要流域生态安全监控、环保综合措施和生态调度体系逐步形成,已开发河流生态修复与生态建设取得明显进展。

③水电开发机制和移民安置政策体系进一步完善,水电开发与移民群众、地方政府的利益共享



机制逐步建立,“先移民后建设”的水电移民政策措施体系初步形成,移民安置工作的科学化、民主化水平明显提升,移民的合法权益得到切实保障,重点水库移民遗留问题基本解决。

④水电建设的坝工技术水平持续提升,复杂地质条件、高地震烈度及 300m 级高坝等筑坝关键技术取得了重大突破。装备制造水平明显加强,百万千瓦级常规机组和  $4.0 \times 10^5 \text{ kW}$ 、500m 水头以上抽水蓄能机组全面实现自主化。

⑤水电行业管理显著加强,开发建设市场秩序全面规范,水电开发政策体系和投资体制更加完善,水电管理体制和电价形成机制改革取得明显进展。科学合理的抽水蓄能电站建设管理和运营机制基本建立。

⑥科技合作与技术交流进一步加强,合作领域不断扩展,合作水平明显提高。国际水电资源合作开发规模不断扩大。跨界河流共同开发取得积极进展,互利共赢的国际合作格局基本建立。

⑦根据我国水能资源分布特点和开发现状,统筹规划、合理布局东部、中部和西部水电开发。

⑧全面推进金沙江下游、雅砻江、大渡河、黄河上游、澜沧江大型水电能源基地建设;加快开发金沙江中游水电能源基地;启动金沙江上游和怒江中下游大型水电能源基地建设,积极推动藏东南“西电东送”接续能源基地建设;有序开展抽水蓄能电站建设。

⑨合理开发黄河北干流、汉江下游、注水、堵河、赣江等流域剩余水能资源,适度加快抽水蓄能电站建设,重点做好丰满等已建电站的扩机和改造升级,加强抽水蓄能电站建设。

## 知识延伸

### (1) 农田水利工程

水利工程按其承担的任务可分为防洪工程、农田水利工程、水力发电工程、城市供水及排水工程、航道及港口工程、环境水利工程等。

农田水利工程主要是指分布在田间,用提、引、蓄、抽等方式给农田提供灌溉的工程,其建筑物主要有水库、渠道、塘坝、水闸、机电井等。其特点是规模小且分散在田间地头,维护和运营比较困难,但是其运行效率的高低直接影响到农作物的收成和水资源的使用效率。新中国成立后,农田水利工程主要由国家和集体投资、农民投劳建造,目前一般由乡镇、村等聘人管理或承包经营。

### (2) 伊泰普水电站

伊泰普水电站位于巴西与巴拉圭之间的界河——巴拉那河(世界第五大河流,年径流量  $7.25 \times 10^{10} \text{ m}^3$ )之上,伊瓜苏市以北 12km 处,是目前世界第二大水电站,由巴西与巴拉圭共建,发电机组和发电量由两国均分。目前共有 20 台发电机组(每台  $7.0 \times 10^5 \text{ kW}$ ),总装机容量  $1.4 \times 10^7 \text{ kW}$ ,年发电量  $9.0 \times 10^{10} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ,其中 2008 年发电  $9.486 \times 10^{10} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。它是当今世界装机容量第二大、年发电量最大的水电站。电站大坝如图 9-23 所示。

伊泰普水利枢纽工程是以发电为主的水电工程,水库水位消落只有 1m,只有在溢洪道需要维修时才将水库水位降低 3m。下游水位随下泄流量改变,实际上也没有大的变化。电站水头变幅小,水库水位变化小,基本上是在恒定水头下满负荷运行,只要机组维护好不出故障,机组都可满发。

伊泰普水电站于 1975 年 10 月 20 日正式动工,1991 年 5 月竣工,耗资 196 亿美元。大坝全长 7744m,坝高 196m,电站主坝为混凝土空心重力坝,坝段长 1500m。右侧接弧形混凝土大头坝,长 770m。左接溢洪道,溢洪闸长 483m,最大泄洪量为  $62200 \text{ m}^3/\text{s}$ 。两岸还接有堆石坝、土坝。坝内蓄满水后,形成蓄水面积达  $1350 \text{ km}^2$ 、深度为 250m、总库容为  $2.9 \times 10^{10} \text{ m}^3$  的伊泰普人工湖。湖的大半在巴西,小半在巴拉圭境内。工程的兴建带动了巴西、巴拉圭的建筑业、建筑材料和其他服务



图 9-23 伊泰普水电站

行业的发展。电站的建成是拉丁美洲国家间相互合作的成果。

伊泰普水电站自建成以来,已在巴西和巴拉圭的能源供应和经济发展中发挥着举足轻重的作用。该电站自从竣工后就成了当地人巨大的旅游财富,每天都吸引着很多游客来旅游观光。

中国三峡水利枢纽工程是以防洪为主进行规划设计的,发电的条件完全是依附于既定的防洪规划,造成水轮机的设计难度远远超过伊泰普,其复杂的运行条件也可称常规机组之最。三峡电站共安装 32 台  $7.0 \times 10^5 \text{ kW}$  水轮发电机组,其中左岸 14 台,右岸地上 12 台,右岸地下 6 台。另外还有 2 台  $5.0 \times 10^4 \text{ kW}$  的电源机组。年平均发电量达到  $8.47 \times 10^{10} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ,只是枯水期受来水量限制,汛期本可以利用长江水多发电,却因为需要防洪,将水位从 175m 下降到 145m,导致大量的水能被放弃,其发电量较伊泰普电站略少。

### (3) 非化石能源

非化石能源,指非煤炭、石油、天然气等经长时间的地质变化形成,只供一次性使用的能源类型以外的能源。其包括当前的新能源及可再生能源,具体包含核能、风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能等可再生能源。发展非化石能源,提高其在总能源消费中的比重,能够有效降低温室气体排放量,保护生态环境,降低能源可持续供应的风险。

按照国家为应对气候变化提出的“到 2020 年非化石能源占一次能源需求 15% 左右和单位 GDP 二氧化碳排放降低 40%~45%”的目标,“十二五”期间必然强化节能减排措施。因此,近 3 年内我国将加快推进包括水电、核电等非化石能源发展,积极有序做好风电、太阳能、生物质能等可再生能源的转化利用,要确保到 2015 年非化石能源消费占一次能源消费的比重达到 11.4% 以上。

### (4) 生物能源

生物能源又称绿色能源。它是指从生物质得到的能源,是人类最早利用的能源。古人钻木取火、伐薪烧炭,实际上就是在使用生物能源。但是通过生物质直接燃烧获得能量是低效而不经济的。随着工业革命的进程,化石能源的大规模使用,生物能源逐步被以煤和石油、天然气为代表的化石能源所替代。“万物生长靠太阳”,生物能源是从太阳能转化而来的,只要太阳不熄灭,生物能源就取之不尽、用之不竭。其转化的过程是通过绿色植物的光合作用将二氧化碳和水合成生物质,生物能的使用过程又生成二氧化碳和水,形成一个物质的循环,理论上二氧化碳的净排放为零。生物能源是一种可再生的清洁能源,开发和使用生物能源,符合可持续发展的科学发展观和循环经济的理念。因此,利用高技术手段开发生物能源,已成为当今世界发达国家能源战略的重要部分。当前生物能源的主要形式有沼气、生物制氢、生物柴油和燃料乙醇四种。

## 本章小结

(1)我国水能资源的理论蕴藏量约为  $6.76 \times 10^8 \text{ kW}$ , 是世界上水能资源最丰富的国家之一, 但在时间分配和区域分配上很不均匀。绝大部分的径流发生在每年 7—9 月(汛期), 而有些河流在冬天则处于干枯状况。大部分径流分部在我国东南、西南及沿海各省, 而西北地区干旱缺水。上述情况给水资源的利用造成了很大困难, 因此要求在国土上人为地重新分配径流, 就必须修建水利工程, 以除害兴利, 造福于人类。水利工程就是对自然界的地表水和地下水进行控制和调配, 以达到除害兴利之目的。

(2)水库是采用工程措施在河流或各地的适当地点修建的人工蓄水池, 是综合利用水利资源的有效措施。它可使地面径流按季节和需要重新分配, 根除干旱、水涝灾害, 可利用大量的蓄水和形成的水头为国民经济各部门服务。水库建成后, 尤其是大型水库的建成, 将使水库周围的环境发生变化。

(3)水利枢纽是为了综合利用水利资源, 使其为国民经济各部门服务, 充分达到防洪、灌溉、发电、给水、航运、旅游开发等目的, 必须修建各种水工建筑物以控制和支配水流, 这些建筑物相互配合, 构成一个有机的综合体。水利枢纽根据其发挥的主要作用可分为: ①防洪发电水利枢纽; ②灌溉航运水利枢纽; ③防洪灌溉发电航运水利枢纽。

(4)水工建筑物的类别主要有: ①挡水建筑物, 泄水建筑物, 取(进)水、输水建筑物等一般水工建筑物; ②水电站建筑物, 水利土壤改良建筑物, 水运建筑物, 供水、污水工程建筑物, 以及渔业建筑物等专门水工建筑物。

(5)水电站的主要类型是: 河床式水电站、坝后式水电站、引水式水电站、混合式水电站、抽水蓄能电站和潮汐电站等。

## 独立思考

- 9-1 简述我国和全球水利资源分布的现状。
- 9-2 我国水利资源分布情况有何特点?
- 9-3 我国西北地区沙漠化日趋严重, 与水利资源分布不均衡有何关系?
- 9-4 什么叫径流? 什么叫地下径流?
- 9-5 南水北调工程有何实际意义?
- 9-6 采用何种手段才能利用有限的水利资源为国民经济服务?
- 9-7 水利资源在我国国民经济中的利用包括哪些方面?
- 9-8 什么叫水利事业?
- 9-9 水利事业的主要内容有哪些?
- 9-10 什么是水利资源的综合利用? 何谓水利资源利用的可持续发展?
- 9-11 何谓水库? 举出有关当地水库的实例。
- 9-12 水库的作用是什么? 水库的组成情况如何?
- 9-13 水库建成后对周围环境有何影响?
- 9-14 一座水库的库容由哪几部分组成?
- 9-15 什么是水利枢纽? 水利枢纽与水库的概念有何不同?
- 9-16 水利枢纽有哪些类型?
- 9-17 水工建筑物与一般土建工程相比有哪些主要特点?

- 9-18 水利枢纽与水工建筑物有何关系?
- 9-19 挡水建筑物有哪些坝型? 各种坝型有何优、缺点?
- 9-20 水能蕴藏量与可开发的总装机容量有何区别?
- 9-21 何谓水力发电? 何谓潮汐发电?
- 9-22 水能是如何转变成电能的?
- 9-23 什么叫水头(水位差、落差)?
- 9-24 影响水力发电的两个主要因素是什么?
- 9-25 水力发电有何优、缺点?
- 9-26 水电站有哪些主要类型?
- 9-27 水电站建筑物主要包括哪些建筑物?
- 9-28 目前我国已建成的大型水利枢纽工程或水电站有哪些? 试举出实例。
- 9-29 什么是化石能源? 什么是非化石能源?
- 9-30 什么是生物能源?

### 参考文献

- [1] 贾正甫,李章政. 土木工程概论. 成都:四川大学出版社,2006.
- [2] 祁庆和. 水工建筑物. 北京:中国水利水电出版社,1997.
- [3] 林继镛. 水工建筑物. 北京:中国水利水电出版社,2009.
- [4] 刘启钊,胡明. 水电站. 北京:中国水利水电出版社,2010.

## 10 港口和飞机场

### 【内容提要】

本章主要内容为港口水工建筑物码头、防波堤、港区护岸的类型及作用,港口水工建筑物的设计要求、注意事项及防护措施;机场规划、路道设计方案、航站区规划、机场维护等,机场跑道的作用和分类,航站楼的作用。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应了解港口水工建筑物码头建筑、防波堤、护岸建筑物、港口陆域设施的类型与作用;了解机场的作用、主要类型和机场工程的主要建筑内容。了解跑道是机场直接供飞机起飞滑跑和着陆滑跑使用;了解机场跑道主要有三种;了解航站楼的作用。

### 10.1 港口工程

现代交通是由公路、铁路、水运、航空、管道等各种运输方式组成的综合运输系统。港口是综合运输系统中水陆联运的重要枢纽,通常与铁路、公路、管道运输发生联系。

自改革开放以来,我国海运事业取得了长足的发展,并跨入世界航运大国的行列。到目前为止,我国从事国际航运的船舶公司已达 231 家,总运力达到 2210 多万吨,居世界第 9 位。我国航运企业在国外设立的独资、合资航运企业和办事机构已达到数百家,承运的第三国货物比重日益提高。自 1986 年我国商船队开始国际班轮运输以来,我国国际班轮每月已达 926 个航班,遍布我国 29 个港口,遍及世界各国和地区的 105 条航线。海运事业的发展是建立在港口工程发展的基础上的,港口工程的发展在很大程度上影响和促进着海运事业的发展和壮大。

港口有一定面积的水域和陆域供船舶出入和停泊,是货物和旅客集散并变换运输方式的场地,是为船舶提供安全停靠、作业的设施,并为船舶提供补给、修理等技术服务和生活服务。

世界上有名的主要港口有荷兰的鹿特丹港(图 10-1),美国的纽约港、新奥尔良港和休斯敦港,日本的神户港和横滨港,比利时的安特卫普港,新加坡的新加坡港,法国的马赛港,英国的伦敦港等。

我国的主要港口有上海港(图 10-2)、香港港、大连港、秦皇岛港、天津港、青岛港、黄埔港、湛江港、连云港、烟台港、南通港、宁波港、温州港、北海港、海口港和洋山深水港等。上海港是我国目前最大的港口,我国最大的深水港是洋山深水港。



图 10-1 荷兰的鹿特丹港



图 10-2 上海港

### 10.1.1 港口的分类

港口按所在位置可分为海岸港、河口港(海岸港和河口港统称为海港)和内河港;按用途可分为军港、工业港、商港、渔港和避风港;按成因可分为天然港和人工港;按港口水域在寒冷季节是否冻结可分为冻港和不冻港;按潮汐关系、潮差大小、是否修建船闸控制进港可分为闭口港和开口港;按对进口的外国货物是否办理报关手续可分为报关港和自由港。

#### (1) 港湾

港湾是指具有天然港(有时也辅以人工措施),可供船只停泊或临时避风的地方。如广州湾、洋浦港、龙门港等。

#### (2) 避风港

避风港是指供船舶在航行途中或海上作业过程中躲避风浪的港口。一般是为小型船、渔船及各种海上作业船设置。

#### (3) 海港

海港是指在自然地理条件和水文气象方面具有海洋性质的港口。其又可进一步分为:

##### ① 海岸港。

海岸港位于有掩护的或平直的海岩上。前者大都位于海湾中或海岸前,有沙洲掩护。如旅顺军港、湛江港和榆林港等,都有良好的天然掩护,不需要修筑防护建筑物。若天然掩护不够,则需构筑外堤防护,如烟台港。位于平直海岸上的港口一般都需要修筑外堤掩护,如塘沽新港。

##### ② 河口港。

河口港位于入海河流的河口段,或河流下游潮区界内。历史悠久的著名大港多属此类。如我国的黄埔港,国外的鹿特丹港、纽约港、伦敦港和汉堡港,均属于河口港。

由于海港受风浪、潮汐、沿岸输沙等的影响,一般利用海湾、岛屿、岬角等天然屏障,或建造防波堤等人工建筑物作为防护。港内有广阔的水域和深水航道,可供海船进出停泊,进行各种作业,补给燃料、淡水和其他物品,躲避风浪,是沿海运输和各种海上活动的基地。优良的海港,通常是沟通国内外贸易的枢纽。

#### (4) 河港

位于河流沿岸,且有河流水文特征的港口称为河港。如我国的南京港、武汉港和重庆港均属于此类。它可供内河运输船舶编解队,装卸作业,旅客上下和补给燃物料等。河港直接受河道径流的影响,天然河道的上游港口水位落差较大,装卸作业比较困难;中、下游港口一般有冲刷或淤积的问题,常需护岸或疏导治理。

#### (5) 水库港

水库港是指建于大型水库沿岸的港口。水库港受风浪影响较大,常建于有天然掩护的地区。水位受工业、农业用水和河道流量调节等的影响,变化较大。

#### (6) 湖港

湖港是位于湖泊沿岸或江河入湖口处的港口。一般水位落差不大,水面平稳,水域宽阔,水深较大,是内河、湖泊运输和湖上各种活动的基地。

#### (7) 商港

商港是指以一般商船和客货运输为服务对象的港口。它具有停靠船舶、上下客货、供应燃料和修理船舶等所需要的各种设施和条件,是水陆运输的枢纽。如我国的上海港、大连港、天津港、广州港和湛江港等均属此类,国外的鹿特丹港、安特卫普港、神户港、伦敦港、纽约港和汉堡港也是商港。商港的规模大小以吞吐量表示。其按装卸货物的种类分为综合性港口和专业性港口两类。综合性港口是指装卸多种货物的港口;专业性港口是装卸某单一货类的港口,如石油港、矿石港、煤港等。由于专业性港口采用专门设备,其装卸效率和能力比综合性港口高,在物流流向稳定、数量大、货类不变的情况下,多考虑建设专业性港口。

#### (8) 工业港

工业港是指为临近江、河、湖、海的大型工矿企业直接运输原材料及制成品而设置的港口,如图 10-3 所示。如大连地区的甘井子大化码头,上海市的吴泾焦化厂煤码头及宝山钢铁总厂码头均为工业港。



图 10-3 深圳市盐田港区集装箱码头

#### (9) 散货港

散货港是指专门装卸大宗矿石、煤炭、粮食和砂石料等散货的港口。专门装卸煤炭的专业港称煤港。这类港口一般都配置大型专门装卸设备,效率高、成本低。

#### (10) 油港

油港是指专门装卸原油或成品油的港口(如宁波油港)。为防止污染和安全起见,油港距离城镇、一般港口和其他固定建筑物都要有一定的安全距离,通常以布置在其下游、下风向为宜。由于近代海上油轮愈建愈大,所以现代海上油港也随之向深水发展。

#### (11) 渔港

渔港是专为渔船停泊、鱼货装卸、鱼货保鲜、冷藏加工、修补渔网和渔船、生产及生活物资补给而设的港口,是渔船船队的基地。见图 10-4。渔港具有天然或人工的防浪设施,有码头作业线、装



卸机械、加工和储存渔产品的工厂、冷藏库和渔船修理厂等。中国最大的沈家门天然渔港、挪威的卑尔根港和秘鲁的卡亚俄港并称世界三大渔港。



图 10-4 舟山沈家门渔港

#### (12) 军港

军港是专供海军舰艇使用的港口,供舰艇停泊、补给、修建、避风和获得战斗、技术、后勤等保障,具备相应的设备和防御设施,是海军基地的组成部分。中国早在春秋时期就出现了设施简单的军用港口,1880 年开始,在马尾、旅顺口、威海卫、黄埔等地兴建了近代军港。现代军港向疏散、隐蔽和综合方向发展,出现了洞内隐蔽式驻泊设施。大型军港通常同机场和对空、对海火力配系,构成完整的防御体系。

### 10.1.2 港口的组成

港口主要由水域和陆域两大部分组成,如图 10-5 所示。水域包括进港航道港池和锚地。天然掩护条件较差的海港需建造防波堤。港口陆域岸边建有码头,岸上设港口仓库、堆场、港区铁路和道路,并配有装卸和运输机械,以及其他各种辅助设施和生活设施。

水域是供船舶航行、运转、锚泊和停泊装卸之用,要求有适当的水深和面积,水流平缓,水面稳静。

陆域是供旅客上、下船,货物装卸、堆存和转载之用,要求有适当的高程、岸线长度和纵深。

港口水域可分为港外水域和港内水域。港外水域包括进港航道和港外锚地。有防波堤掩护的海港,在口门以外的航道称为港外航道。港外锚地供船舶抛锚停泊,等待检查及引水。港内水域包括港内航道、转头水域、港内锚地和码头前水域或港池。

为了克服船舶航行惯性,要求港内航道有一个最低长度,一般不小于 3~4 倍的船长。船舶由港内航道驶向码头或由码头驶向航道,要求有能够进行回转的水域,称为转头水域。在内河港口,为便于控制,船舶逆流靠、离岸[图 10-6(a)]。当船舶从上游驶向顺岸码头时,先调头,再靠岸;当船舶离开码头驶往下游时,要逆流离岸,然后再调头行驶[图 10-6(b)]。因此,要求顺岸码头前水域有足够宽度。

供船舶停靠和装卸货物用的毗邻码头水域,称为码头前水域或港池。它必须有足够的深度和宽度,使船舶能方便地靠岸和离岸,并进行必要的水上装卸作业。有突堤码头间的港池和顺岸码头前的港池,后者不能占用航道。

海港港内锚地供船舶避风停泊,等候靠岸及离港,进行水上由船转船的货物装卸。河港锚地供

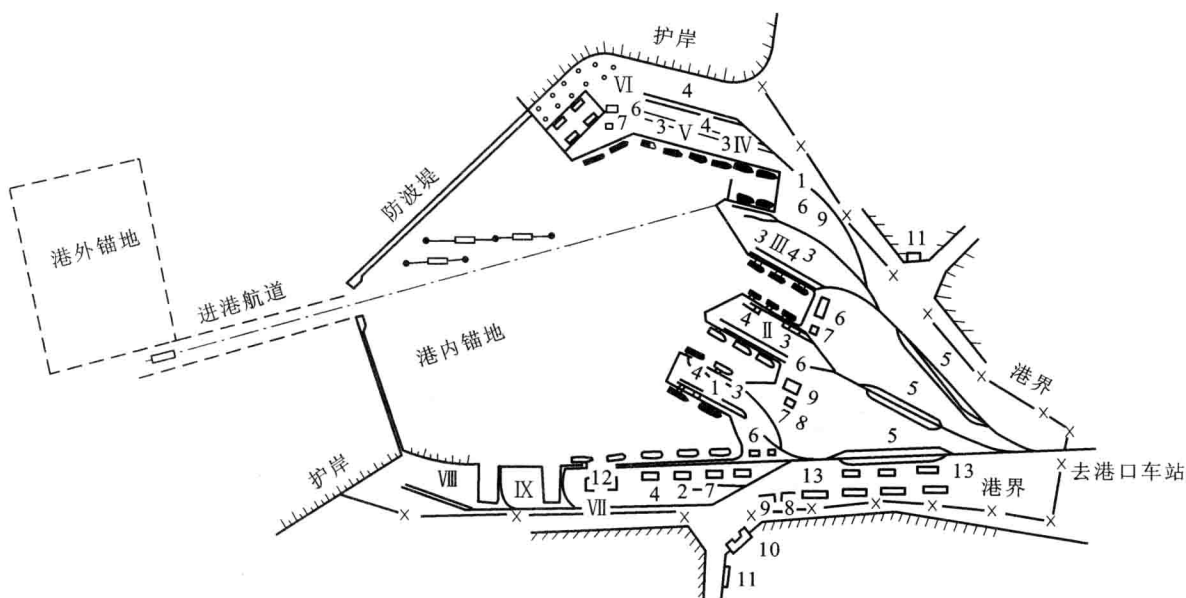


图 10-5 港口组成平面图

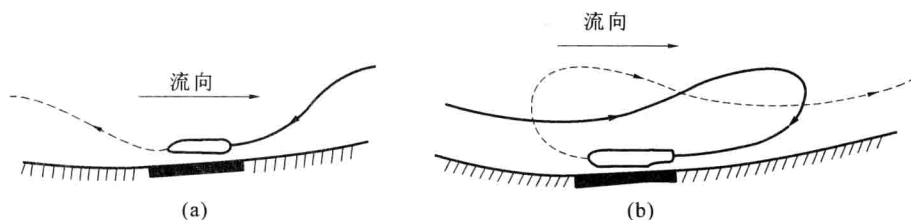


图 10-6 河港中船舶离靠码头的方法

(a) 逆流靠岸；(b) 顺流靠岸

船舶解队及编队，等候靠岸及离港，进行水上装卸。在河口港及内河港，水上装卸的货物常构成港口吞吐量的重要组成部分。

为了保证船舶安全停泊及装卸，港内水域要求稳静。在天然掩护不足的地点修建海港，需要建造防波堤，以满足泊稳要求。

港口陆域则由码头、港口仓库及货场，铁路及道路，装卸及运输机械，港口辅助生产设备等组成。

### 10.1.3 港口水工构筑物

港口的的水工构筑物主要是码头。码头是提供船舶系靠、装卸货物或上下旅客的建筑物的总称。

#### (1) 码头布置形式

##### ① 顺岸式码头。

码头的前沿线与自然岸线大体平行，在河港、河口港及部分中、小型海港中较为常用。其优点是陆域宽阔、疏运交通布置方便，工程量较小。图 10-7 所示为顺岸码头的几种常见的布置形式。

##### ② 突堤式码头。

码头的前沿线布置成与自然岸线有较大的角度，如大连港、天津港、青岛港等港口均采用了这种形式。其优点是在一定的水域范围内可以建设较多的泊位，缺点是突堤宽度往往受限，每泊位的平均库场面积较小，作业不方便。图 10-8 是突堤与顺岸结合部位的布置方式。

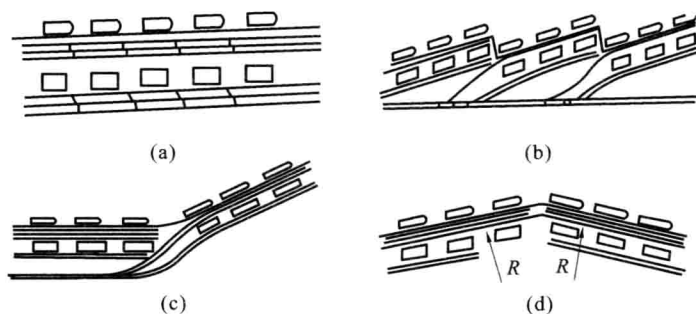


图 10-7 顺岸码头布置形式

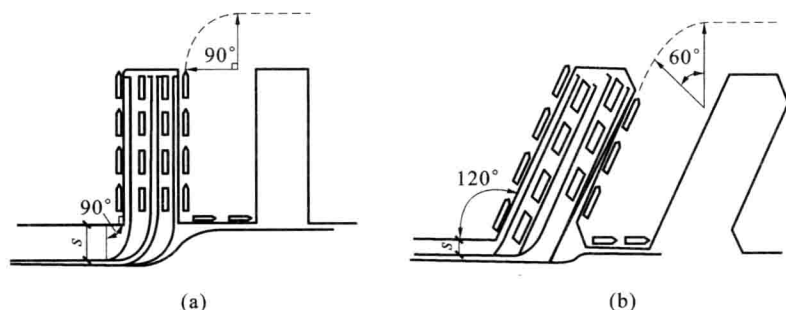


图 10-8 突堤式码头

(a) 直突堤; (b) 斜突堤

## ③挖入式码头。

码头的港池由人工开挖形成,在大型的河港及河口港中较为常见,如德国汉堡港、荷兰的鹿特丹等。挖入式港池布置,也适用于沿岸低洼地建港,利用挖方填筑陆域,有条件的码头可采用陆上施工。近年来日本修建的鹿岛港、中国的唐山港(图 10-9),都属于这种形式的码头。

当今,随着船舶大型化和高效率装卸设备的发展,外海开敞式码头已被逐步推广使用,并且已被应用于大型散货码头,我国石臼港煤码头和北仑港矿石码头均属这类码头。

此外,在岸线有限或沿岸浅水区较宽的港口以及某些特殊要求的企业(如石化厂),岛式港方案已开始发展,日本建成的神户岛港便属于此类港口。

## (2) 码头形式

码头形式按其前沿的横截面外形可以分为直立式、斜坡式、半直立式和半斜坡式四种,如图 10-10 所示。直立式码头岸边有较大的水深,便于大船系泊和作业,不仅在海港中广泛采用,在水位差不太大的河港中也常采用。斜坡式码头适用于水位变化较大的情况,如天然河流的上游和下游港口。半直立式码头适用于高水时间较长而枯水时间较短的情况,如水库港。半斜坡式码头适用于枯水时间较长而高水时间较短的情况,如天然河流上游的港口。

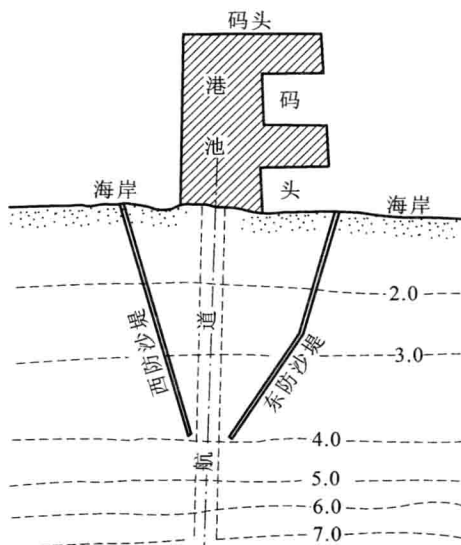


图 10-9 挖入式码头

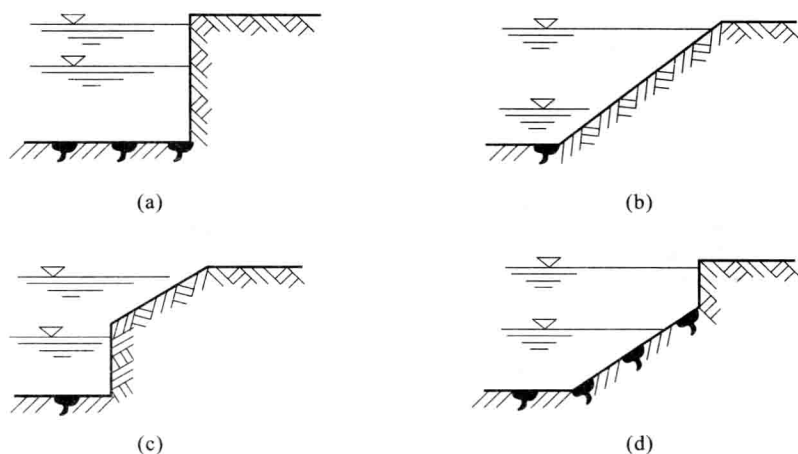


图 10-10 码头横截面形式

(a)直立式;(b)斜坡式;(c)半直立式;(d)半斜坡式

码头按其结构形式可分为重力式、板桩式、高桩式和混合式四种形式。

①重力式码头[图 10-11(a)],是靠码头自身重量来抵抗滑移和倾覆,一般需要设置基础。其适用于较好的地基条件。

②板桩式码头[图 10-11(b)],是靠打入土中的板桩来抵挡侧向土压力。由于板桩是一较薄的构件,且承受较大土压力,所以目前一般用在 10m 以下墙高的码头。

③高桩式码头[图 10-11(c)],主要由上部结构和桩基两部分组成。上部结构构成码头地面,并与桩基连成整体,直接承受作用在码头上的垂直作用力和水平作用力,并把它们传给桩基,桩基再把这些作用力传给地基。高桩式码头一般适用于软土地基。中国第一、世界领先的深水港——洋山深水港,码头结构形式即为高桩式。

④码头除了上述主要结构形式外,根据当地的地质、水文、材料、施工条件和码头使用要求等,也可采用混合式结构。如下部为重力墩、上部为梁板式结构的重力墩式码头,后面为板桩结构的高桩栈桥码头[图 10-11(d)],由基础板、立板和水平拉杆及锚锭结构组成的混合式码头[图 10-11(e)]。

码头形式还可分为岸壁式和透空式两大类。岸壁背面有回填土,受土压力作用,如顺岸重力式码头和板桩码头。透空式码头建在稳定的岸坡上,一般没有挡土部分,或有独立挡土结构,如高桩式码头(前板桩高桩码头除外)和墩式栈桥码头等。

### (3)防波堤

防波堤的主要作用是为港口提供掩护条件,阻止波浪和漂沙进入港内,保持港内水面的平稳和所需要的水深,并具有防沙、防冰的功能。

#### ①防波堤的平面布置。

码头防波堤的平面布置,可因地形、风浪等自然条件及建港规模要求等而有所不同,一般可分为四大类型,如图 10-12 所示。

单突堤是指在海岸适当地点筑堤一条,伸入海中,使堤端达到适当深水处。双突堤自海岸两边适当地点,各筑突堤一道伸入海中,遥相对峙,而达到深水线,两堤末端形成一突出深水的口门,以围成较大水域,保持港内航道水深。岛堤筑堤于海中,形同海岛,专门拦挡迎面袭来的波浪与漂沙,堤身轴线可以是直线、折线或曲线。组合堤亦称混合堤,是由突堤与岛堤混合应用而成,大型海港多用此种堤式。

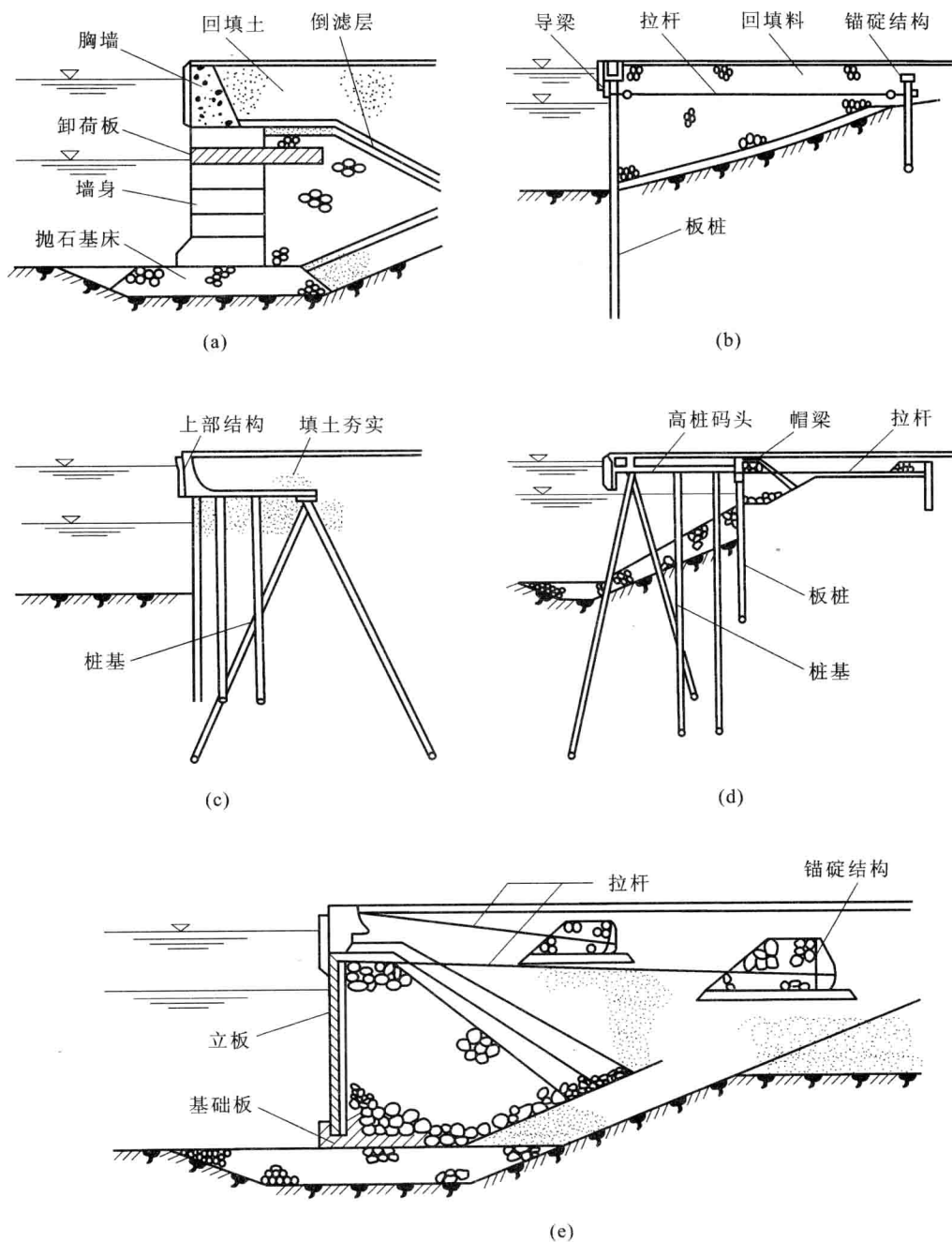


图 10-11 码头的结构形式

(a)重力式码头;(b)板桩码头;(c)高桩码头;(d)混合式码头一;(e)混合式码头二

## ②防波堤的类型。

防波堤按其构造形式(或截面形状)及对波浪的影响有斜坡式、直立式、混合式、透空式和浮式,以及喷气消波设备和喷水消波设备等多种类型,如图 10-13 所示。

## a. 斜坡式防波堤。

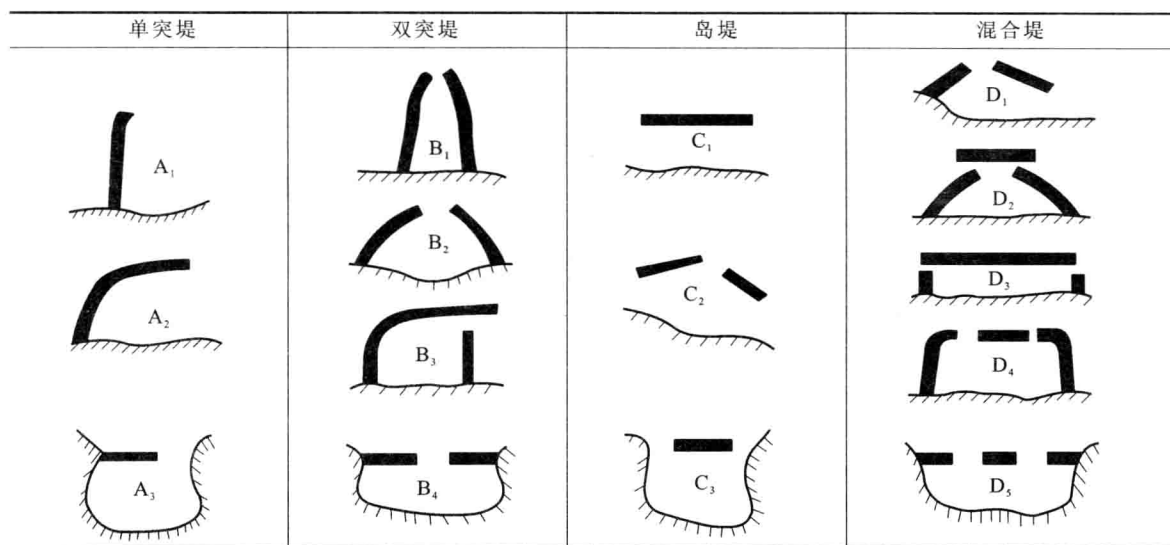


图 10-12 防波堤的平面布置类型

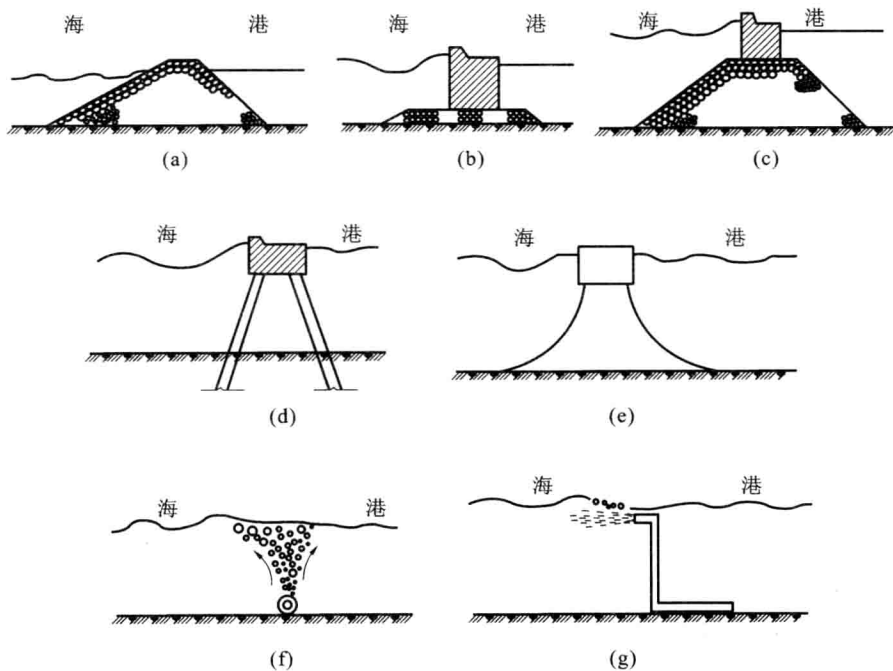


图 10-13 防波堤的类型

(a)斜坡式;(b)直立式;(c)混合式;(d)透空式;(e)浮式;(f)喷水消波设备;(g)喷水消波设备

斜坡式防波堤在我国使用最广泛。其优点是对地基沉降不甚敏感,易于修复,所以斜坡式防波堤对地基承载力的要求较低,施工比较简单。其缺点是斜坡式防波堤需要的材料数量较大,堤的内侧不能作为靠船码头。

#### b. 直立式防波堤。

直立式防波堤也称直墙式防波堤,适用于海底土质坚实、地基承载能力较强和水深大于波浪破

碎水深的情况,当水深较大时,它所需的材料比斜坡式堤节省。在使用上,其内侧可兼供靠船之用。其缺点是由于波浪在墙面反射,消波的效果较差;地基应力较大,不均匀沉降可使堤墙产生裂缝,修复较困难。

c. 混合式防波堤。

混合式防波堤又称组合式防波堤。它是直立式上部结构和斜坡式堤基的综合体,增加直立式堤的基床厚度,便形成混合式防波堤。混合式防波堤可减少直立墙高度和地基压力,斜坡式堤基断面不必过大,因此,比较经济合理。

d. 透空式防波堤。

透空式防波堤在材料使用和经济效果上看都较为合理,特别适用于水深较大、波浪较小的条件。其缺点是透空式堤不能阻止泥沙入港,也不能减小水流对水域的干扰。

e. 浮式防波堤。

浮式防波堤不受地基基础的影响,可随水位的变化而上下,浮式防波堤较适合于波浪较陡和水位变化幅度较大的场合,又由于它易于拆迁,因而可以用作临时工程的防浪措施。

f. 喷气消波设备。

喷气消波设备是利用水下管中喷出的空气与水掺和所形成的空气帘幕来削减波浪。当喷气管安设在足够的水深时,船舶可以经越其上驶入港内,畅航无阻。喷气消波设备施工简单、拆迁方便,但喷气消波设备在使用时,所需费用较高。新式防波设备还有塑料帘幕和浮毯等形式。帘幕破坏波浪水质点的轨道运动,浮毯利用浮体运动和波浪运动的相位差以迫使波浪衰减,按其作用原理来说,与浮式防波堤类似。

防波堤形式的选用,应根据当地情况,如海底土质、水深大小、波浪状况、建筑材料、施工条件等,以及使用上的不同要求,经方案比较确定。

#### (4) 护岸建筑

天然河岸或海岸,因受波浪、潮汐、水流等自然作用力的破坏作用,会产生冲刷和侵蚀现象。这种现象可能是缓慢的,水流逐渐地把泥沙带走;但也可能在瞬间发生,较短时间内出现大量冲刷。因此要修建护岸建筑物。护岸建筑物,可用于防护海岸或河岸免遭波浪或水流的冲刷。而港口的护岸则是用来保护除了码头岸线以外的其他陆域边界。当在岸坡变化的范围内建有重要的建筑物,如沿岸有铁路、公路路基或桥梁、涵洞等建筑物,当遭受侵蚀的岸边地带附近,有突堤、码头等情况下,岸边是不允许被冲刷的。

护岸方法有两大类:一类是直接护岸,即利用护坡和护岸墙等加固天然岸边,抵抗侵蚀;另一类是间接护岸,即利用在沿岸建筑的丁坝或潜堤,促使岸滩前发生淤积,以形成稳定的新岸坡。

图 10-14 为直接护岸建筑中的干砌块石与浆砌块石护坡,护坡材料还可用混凝土板、钢筋混凝土板、混凝土方块或混凝土异形块体等。图 10-15、图 10-16 为直接护岸建筑中用护岸墙保护陡岸的示例。依据地形也可用护坡及护岸墙结合的形式。

图 10-17 为间接护岸建筑的促淤潜堤,由于潜堤大致与岸线平行,位置在波浪的破碎水深以内又临近于破碎水深,则不仅对波浪有削减作用,而且可促使潜堤和岸线之间落淤,形成新的岸线,从而巩固原岸线。

间接护岸建筑的另一种形式为自岸边向外伸出的丁坝,丁坝轴线一般与岸线正交或偏向下游。这样可阻碍斜向朝着岸坡行进的波浪和与岸平行的沿岸流,使泥沙沉积(落淤),滩地增高,原有岸地更为稳固。



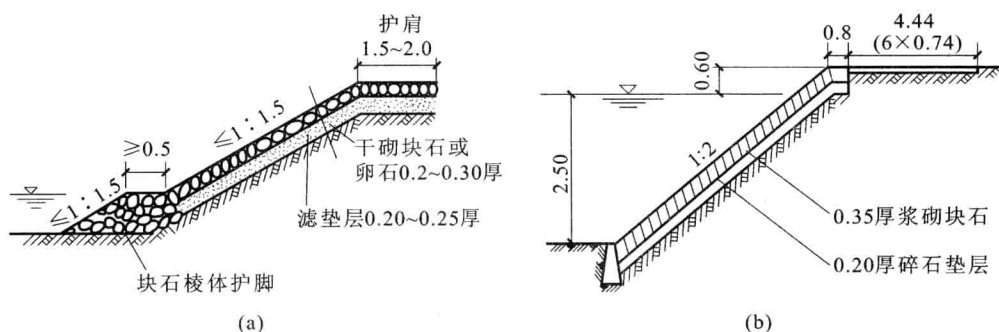


图 10-14 块石护坡(单位:m)

(a)干砌块石护坡;(b)浆砌块石护坡

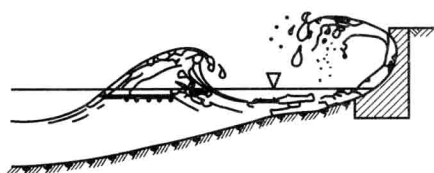


图 10-15 凹凸式护岸墙

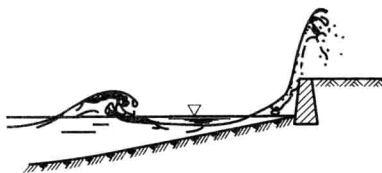


图 10-16 直面式护岸墙



图 10-17 促淤潜堤

### (5)港口仓库与货场

港口是货物的集散地,也是车船换装的地方。仓库、货场是港口的储存系统,其主要作用是加速车船周转,提高港口吞吐能力。仓库和货场的容积应与运输能力相配套,所处位置要考虑处于最佳物流方向,方便库内运输,便于货物的收发,并满足防火、防潮、防淹和通风的要求。

港口仓库可分为普通仓库和特种仓库(筒仓、油罐等)。普通仓库又可分为单层库和多层库。

货场有杂件货堆场和散货堆场两种。由于杂件货的保管要求高,同时为便于装卸和运输机械的行驶,一般杂件货堆场的地面都需进行处理,做成承重、耐磨、抗震、排水的铺面。散货堆场一般是将原地面平整压实便可。

港口货场上有轨起重运输机械的轨道基础结构,常用的有钢轨及配件、轨枕及道砟组成的轨道道砟结构和轨道梁。

在港口货运量大的情况下,可设置专为港口服务的港口车站,以提高港口装卸效率和减轻路网车站负担。港口车站宜靠近港口各作业区,以便于取送车作业。

## 10.2 机场工程

人类自古以来就羡慕鸟类在天空自由飞翔的本领,人们也一直在努力不懈地探索飞上蓝天的奥秘。中外历史上也记载了许多关于飞行的人与物的幻想与真实的故事。在 1903 年 12 月 17 日,美国莱特兄弟制造的飞机,在北卡罗来纳州的基蒂霍克附近飞行了 36.38m,这是人类首次飞机飞

行。随着我国经济的迅速发展,航空运输需求迅猛增长;同时,由于飞机速度快、舒适性好,能大大节省时间和空间距离,故对飞机工程的数量和质量也有了更高的要求。在飞机场工程的建设方面,机场规划、跑道设计方案、航站区规划、机场维护等已日益成为人们关注的问题。

### 10.2.1 机场的分类

#### (1) 民航运输机与机场

##### ① 民航运输机分类。

a. 干线运输机。它是指载客量大于 100 人,航程大于 3000km 的大型运输机。以美国波音公司的 Boeing747(以后简称 B747)、B757、B767、B777、DC10(美国麦道公司制造,现麦道公司已并入波音公司)、MD11(DC10 的改进型),欧洲空中客车公司的 A380,俄罗斯的伊尔 81 等为代表。

b. 支线(亦称分线)运输机。它是指载客量小于 100 人,航程为 200~400km 的中心城市与小城市及小城市之间的运输机。以美国的 DC3,英国宇航的 SH330 和 Bae146,中国与美国联合制造的 MD82、MD90 等为代表。

不同类型的民航飞机组图见图 10-18。

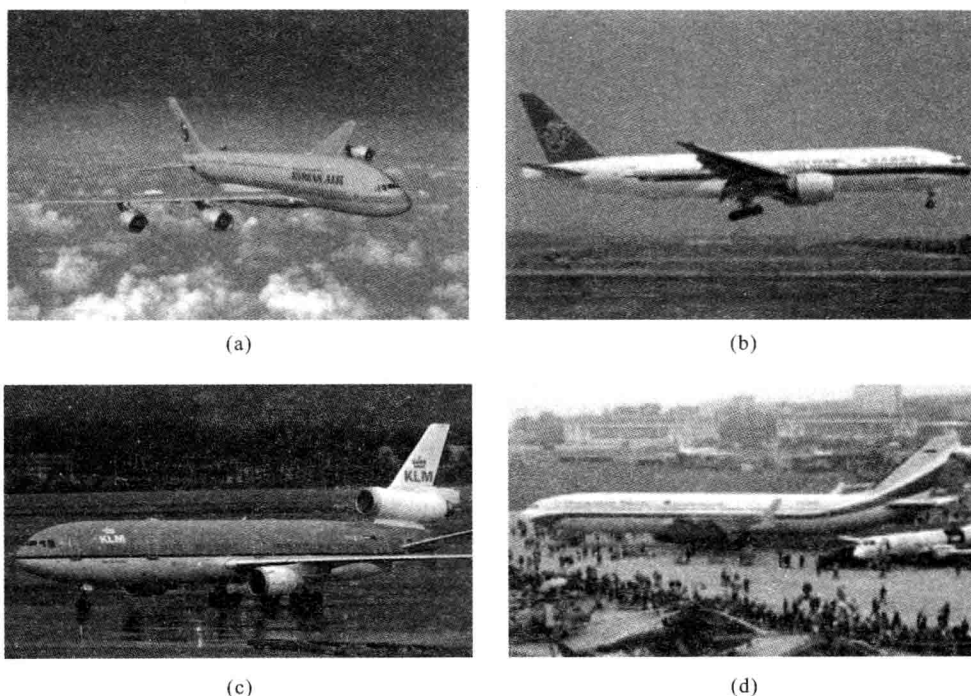


图 10-18 不同类型的民航客机

(a)空客 A380;(b)波音 B777-200;(c)麦道 MD-11;(d)伊尔 96-300

##### ② 民航机场概况。

初期的民航机场,场地小且简陋,如以碎石沥青铺筑跑道。在民航发展期(1950 年开始),机场发生了质的变化,尤其是 20 世纪 70 年代出现的大型宽体客机和运输量的增加,使机场向大型化和现代化迈进。

#### (2) 民航机场的分类和组成

##### ① 机场的分类。

a. 国际机场:指供国际航线用,设有海关、边防检查、卫生检疫、动植物检疫、商品检验等联检机构的机场。如北京首都国际机场、上海虹桥国际机场、成都双流国际机场,等等。

b. 干线机场:指省会、自治区首府及重要旅游、开发城市使用的机场。

c. 支线机场(又称地方航线机场):指各省、自治区内地面交通不便的地方修建的机场,规模通常较小。

各类民航机场如图 10-19 所示。

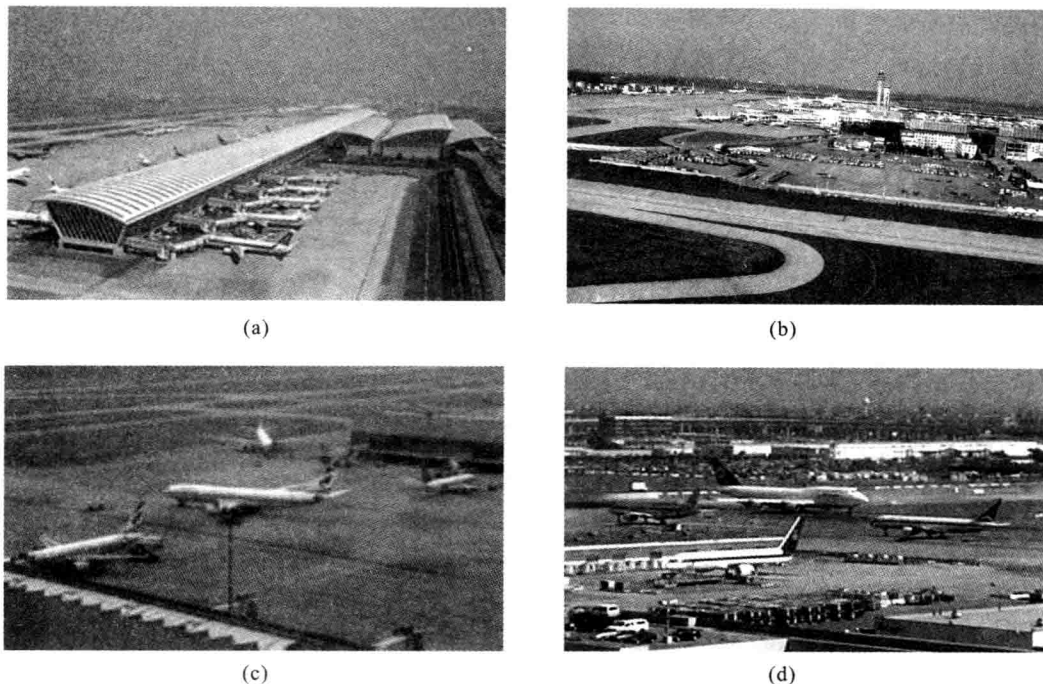


图 10-19 各种类型的民航机场

(a)上海浦东国际机场;(b)北京首都国际机场;(c)成都双流国际机场;(d)美国洛杉矶国际机场

机场还可根据其使用性质分为军用机场和民用机场两大类。

## ②机场的组成。

民航机场主要由飞行区、旅客航站区、货运区、机务维修设施、供油设施、空中交通管制设施、安全保卫设施、救援和消防设施、行政办公区、生活区、辅助设施、后勤保障设施、地面交通设施及机场空域等组成。

## ③机场飞行区等级。

飞行区等级用数字+字母来表示,数字表示跑道长度,“4”表示 1800m 以上,字母表示能起飞的翼展和轮距,从 A 到 F 越往后越大,从小到大分为 A、B、C、D、E、F 6 个等级。4F 级机场表示可以起降各种大型飞机。飞行区等级见表 10-1。

表 10-1

飞行区等级

飞行区代码	跑道长度 $L/\text{m}$	飞行区代号	翼展 $WS/\text{m}$	主起落架外轮外侧间距 $T/\text{m}$
1	$L < 800$	A	$WS < 15$	$T < 4.5$
2	$800 \leq L < 1200$	B	$15 \leq WS < 24$	$4.5 \leq T < 6$
3	$1200 \leq L < 1800$	C	$24 \leq WS < 36$	$6 \leq T < 9$

续表

飞行区代码	跑道长度 $L/\text{m}$	飞行区代号	翼展 $WS/\text{m}$	主起落架外轮外侧间距 $T/\text{m}$
4	$L \geq 1800$	D	$36 \leq WS < 52$	$9 \leq T < 14$
		E	$52 \leq WS < 65$	$9 \leq T < 14$
		F	$65 \leq WS < 80$	$14 \leq T < 16$

通常情况下,4F级可起降空客 A380 等四发远程宽体超大客机(飞机全重 560t);4E 可起降波音 747、空客 A340 等四发远程宽体客机;4D 可起降波音 767、空客 A300 等双发中程宽体客机;4C 可起降空客 A320、波音 737 等双发中程窄体客机;3C 可起降波音 733、ERJ、ARJ、CRJ 等中短程支线客机。

### 10.2.2 机场的主要构筑物

#### (1) 跑道

机场飞行区的主体是跑道,它直接供飞机起飞滑跑和着陆滑跑之用。飞机在起飞时,必须先在跑道上进行起飞滑跑,边跑边加速,一直加速到机翼上升力大于飞机的重量,飞机才能逐渐离开地面。飞机降落时速度很快,必须在跑道上边减速边滑跑才能逐渐停下来。如果没有跑道,地面上的飞机无法上天,天上的飞机无法降落。因此,跑道是机场最重要的工程设施,飞机对跑道的依赖性非常大。跑道布置的构形可归纳为单条跑道、多条跑道、V 形开口跑道和交叉跑道四种基本形式。

跑道按其作用分为主要跑道、辅助跑道和起飞跑道三种。

①主要跑道:在条件许可时比其他跑道优先使用的跑道。按使用该机场最大机型的要求修建,长度较长,承载力较高。

②辅助跑道(次要跑道):指因受侧风影响,飞机不能在主要跑道上起飞着陆时,供辅助起降用的跑道。因为飞机在辅助跑道上起降都有逆风影响,所以其长度比主要跑道短些。

③起飞跑道:指只供起飞用的跑道。

有些机场还建有专门供飞机着陆的着落跑道。

几种跑道布置方案如图 10-20 所示。

#### (2) 机坪与机场净空区

飞机场的机坪主要有等待坪和掉头坪。前者供飞机等待起飞或让路而临时停放使用,通常设在跑道端附近的平行滑行道旁边。后者则供飞机掉头用,当飞行区不设平行滑行道时,应在跑道端部设掉头坪。

机场净空区是指飞机起飞着陆所涉及的范围,沿着机场周围应设有一个没有影响飞行安全的障碍物的区域。为了确保飞机安全,对这个范围内的地形、地物高度必须进行严格控制,不允许有危及飞行安全的障碍物。对净空区的规定,受到飞机起落性能、气象条件、导航设备、飞行程序等因素的控制,国际民航组织对机场净空区有专门要求,净空区障碍物限制面如图 10-21 所示。

#### (3) 航站区布局

旅客航站区的规划与设计是机场工程的又一重要内容。旅客航站区主要由航站楼、站坪、机场停车场与货运区所组成。航站楼的设计包括其位置、形式、建筑面积等内容,如图 10-22 所示。

##### ① 航站楼。

航站楼是机场的主要建筑,供旅客完成从地面到空中或从空中到地面转换交通方式使用。航站楼通常由下列设施组成:

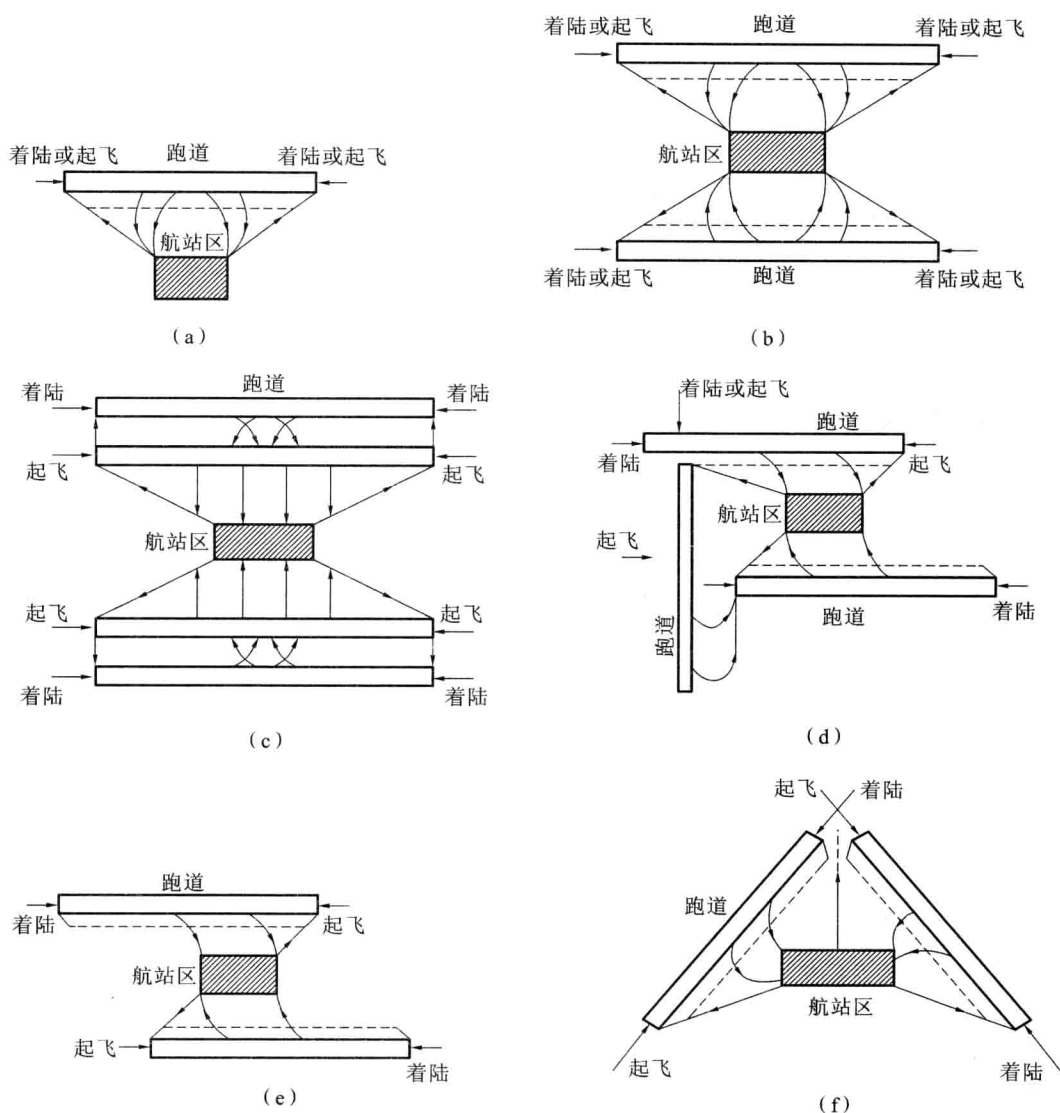


图 10-20 机场跑道方案图

(a)单条跑道;(b)平行跑道;(c)四条平行跑道;(d)增加垂直向的跑道;(e)端部错位的平行跑道;(f)V形跑道

- a. 连接地面交通的设施。如上、下汽车的车边道及公共汽车站等。
- b. 办理各种手续的设施。如旅客办票、安排座位、托运行李的柜台以及安全检查、海关、边检(移民)柜台等。
- c. 连接飞机的设施。如候机室、登机设施等。
- d. 航空公司营运和机场必要的管理办公室与设备等。
- e. 服务设施。如餐厅、商店等。

航站楼的布局包括竖向和平面布局。航站楼的竖向布局主要考虑把出发和到达的旅客客流分开,以方便旅客和提高运行效率。视旅客量的多少、航站楼可使用的土地面积和地面系统等情况,可将航站楼布置为一层、一层半、两层或多层形式。

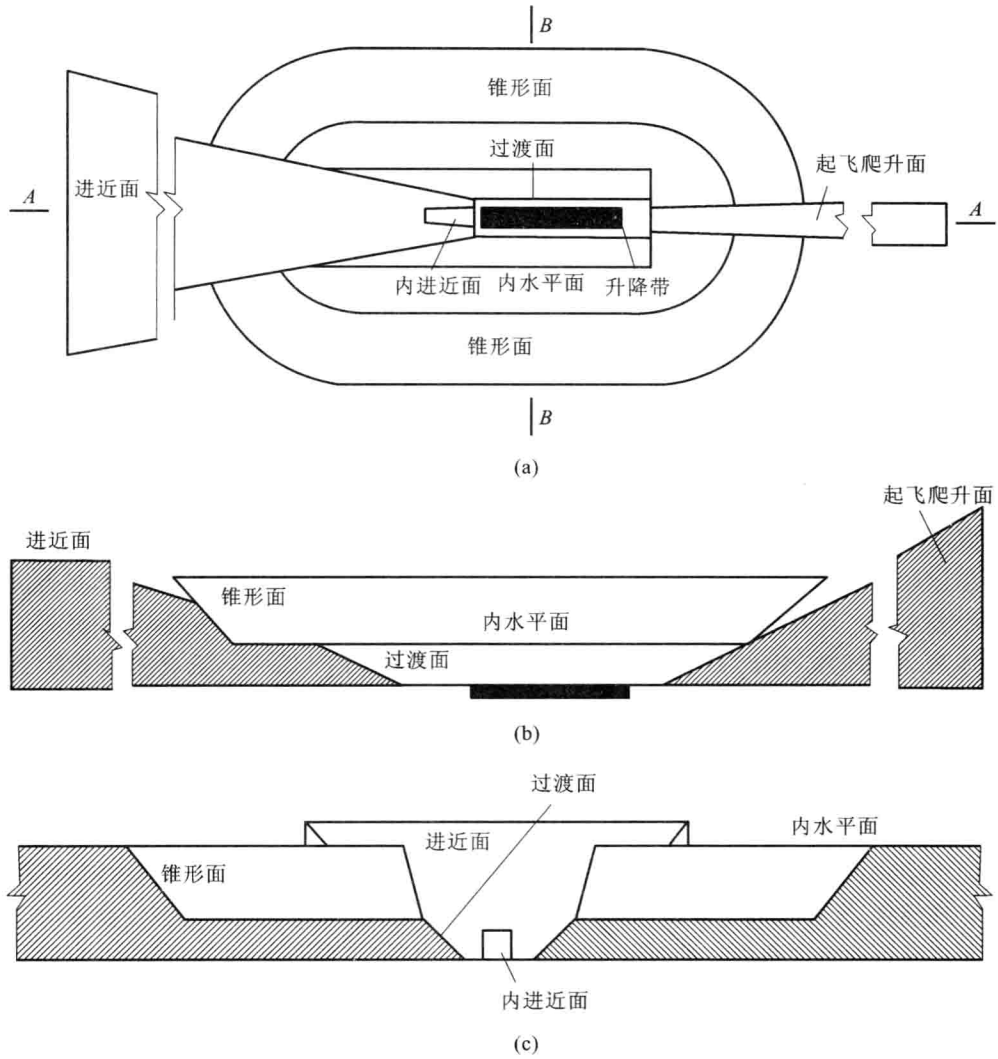


图 10-21 障碍物限制面示意图

(a)平面图;(b)A—A剖面图;(c)B—B剖面图

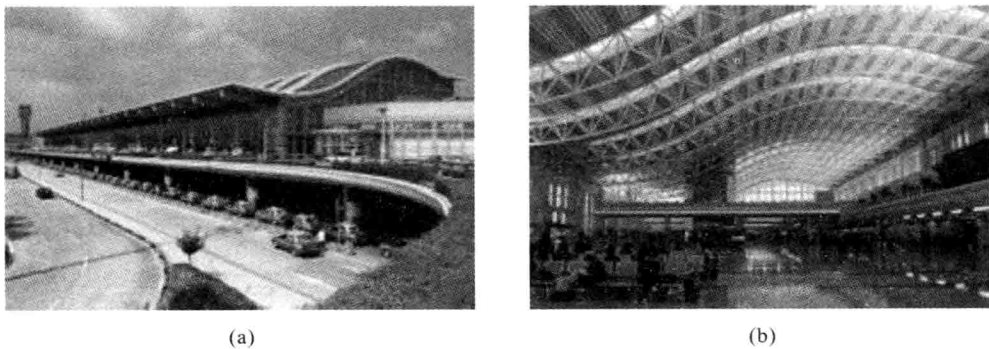


图 10-22 成都双流国际机场候机楼

(a)候机楼外景;(b)候机楼出发大厅

航站楼的建筑面积主要根据高峰小时客运量确定。面积配置标准与机场性质、规模及经济条件有关。目前,我国可考虑采用的国内航班为  $14\sim 26\text{m}^2/\text{人}$ ,国际航班为  $28\sim 40\text{m}^2/\text{人}$ 。

### ②站坪、机场停车场与货运区。

站坪亦称客机坪,是设在航站楼前的机坪,供客机停放,上、下旅客,完成起飞前的准备和到达后的各项作业使用。

机场停车场设在机场的航站楼附近,当停放车辆很多且土地紧张时宜采用多层车库。停车场建筑面积主要根据高峰小时流量、停车比例及平均每辆车所需的面积确定。高峰小时车流量可根据高峰小时旅客人数、迎送者、出入机场的职工与办事人员数量以及平均每辆车载客量确定。

机场货运区供货运办理手续、装上飞机以及飞机卸货、临时储存、交货等使用,主要由业务楼、货运库、装卸场及停车场组成。

货运区应离开旅客航站区及其他建筑物适当距离,以便将来发展。

## 10.2.3 我国港口、机场工程的发展前景

①沿海港口建设:有序推进主要货类运输系统码头建设,加强航道、防波堤、公共锚地等港口公共基础设施建设,优化沿海港口结构与布局,促进港口结构调整,着力拓展港口功能,提升港口的保障能力和服务水平。计划到 2015 年,形成布局合理、保障有力、服务高效、安全环保、管理先进的现代化港口体系,沿海港口深水泊位达到 2214 个(新增深水泊位约 440 个),重点推进煤炭、外贸进口原油、铁矿石和集装箱码头建设,能力适应度(港口通过能力/实际完成吞吐量)达到 1.1,沿海港口货物吞吐量达到  $7.8\times 10^9\text{t}$ 。在充分发挥既有设施能力的基础上,根据集装箱运输市场情况,合理把握建设节奏,有序推进新码头建设。规划新增集装箱码头通过能力达 5800 万 TEU(国际标准箱单位)。

②内河水运建设:实施长江干线航道系统治理,加快以高等级航道为重点的内河航道建设,加快内河港口规模化、专业化港区建设,推进内河船型标准化,加强航道养护管理。到 2015 年,内河航道通航条件显著改善,“两横一纵两网十八线” $1.9\times 10^4\text{km}$  高等级航道 70% 达到规划标准,高等级航道里程达到  $1.3\times 10^4\text{km}$ ,内河水运优势进一步发挥,内河货运量达到  $3.85\times 10^9\text{t}$ 。

③民航建设:以建设民航强国战略,统领民航业发展;以确保持续安全为前提,加快基础设施建设,完善航空运输网络,全面提升运输质量,积极发展通用航空。到 2015 年,民用航空保障能力整体提高,初步建成布局合理、功能完善、层次分明、安全高效的机场体系,运输机场数量达到 230 个以上,大型机场容量饱和问题得到缓解。

根据经济发展形势,完善以国际枢纽机场和干线机场为骨干、支线机场为补充的航空网络。加强珠江三角洲、长江三角洲、京津冀等区域机场功能互补,促进多机场体系的形成。力争到 2015 年,民用机场覆盖全国 81% 以上的县级城市单元和 83% 以上的人口。民航客运量、货运量分别达到 4.5 亿人、 $9.0\times 10^6\text{t}$ 。

### 知识延伸

#### (1)冯如——中国第一位飞机设计师

中国的第一位飞机设计师——冯如,广东恩平县人,出生于 1883 年 12 月 15 日。12 岁时,因生活所迫,随亲戚赴美国旧金山谋生。

1903 年,当得知莱特兄弟发明了飞机后,冯如决心要依靠中国人的力量来制造飞机。他得到



当地华侨的赞助,于1907年在旧金山以东的奥克兰设立飞机制造厂,1909年正式成立广东飞行器公司,冯如任总工程师。公司于当年便投入飞机制造。

1909年9月21日,冯如在接近黄昏时在奥克兰附近一个圆形山丘旁进行了第一次试飞,这是一个远离居民点的地方,在场的除记者外,就是他的3个助手。当飞机起飞后飞行了0.8km,离地4.57m准备转弯时,螺旋桨突然停转,飞机摔到地面,冯如被摔出机外,幸没受伤。造成事故的原因是螺旋桨桨轴螺丝拧得太紧,致使桨根断裂。

1910年7月,冯如根据寇蒂斯“金箭”和莱特兄弟的“飞行者一号”,又制作了第二架飞机,10月至12月,冯如驾驶它在奥克兰进行飞行表演,大获成功,并受到孙中山先生和旅美华侨的赞许,同时获得美国国际航空学会颁发的甲等飞行员证书。1911年2月,冯如谢绝美国多方的聘任,带着助手及两架飞机回到中国。辛亥革命后,冯如被广东革命军政府委任为飞行队长。1912年8月25日,冯如在广州燕塘飞行表演中因飞机失事不幸离世,被追授为陆军少将,遗体安葬在黄花岗,并立碑纪念,被尊为“中国首创飞行大家”。

### (2) 莱特兄弟——世上第一架飞机的制造者

威尔伯·莱特生于1867年4月16日,他的弟弟奥维尔·莱特生于1871年8月19日。他们从小就对机械装配和飞行怀有浓厚的兴趣,从事自行车修理和制造行业。



奥托·李林塔尔试飞滑翔机成功的消息使莱特兄弟俩立志飞行。1896年,李林塔尔试飞失事,促使他们把注意力集中在了飞机的平衡操纵上面。他们特别研究了鸟的飞行,并深入钻研了当时几乎所有关于航空理论方面的书籍。这个时期,航空事业连连受挫,飞行技师皮尔机毁人亡,重机枪发明人马克沁试飞失败,航空学家兰利连飞机带人摔入水中等,这使大多数人认为飞机依靠自身动力

进行飞行是完全不可能的。

莱特兄弟没有放弃自己的努力。从1900年至1902年期间,他们除进行了1000多次滑翔试飞之外,还自制了200多个不同的机翼进行了上千次风洞实验,修正了李林塔尔一些错误的飞行数据,设计出了较大升力的机翼截面形状。他们在1903年制造出了第一架依靠自身动力进行载人飞行的飞机“飞行者一号”。这架飞机的翼展为13.2m,升降舵在前,方向舵在后,两副两叶推进螺旋桨由链条传动,着陆装置为滑橇式,装有一台质量为70kg,功率为8.8kW的四缸发动机。这架航空史上著名的飞机,现在陈列在美国华盛顿航空航天博物馆内。

1903年12月14—17日,“飞行者一号”进行第4次试飞,地点在美国北卡罗来纳州基蒂霍克的一片沙丘上。第一次试飞由奥维尔·莱特驾驶,共飞行了36m,空中停留12s。第四次由威尔伯·莱特驾驶,共飞行了260m,空中停留59s。1906年,他们的飞机在美国获得专利发明权。

他们因此于1909年获得美国国会荣誉奖。同年,他们创办了“莱特飞机公司”。威尔伯·莱特于1912年5月29日逝世,年仅45岁。此后,奥维尔·莱特奋斗30年,使莱特飞机公司成为世界著名飞机制造商,资金高达百亿美元。奥维尔·莱特于1948年1月3日逝世。

### (3) 滑翔机之父——奥托·李林塔尔

李林塔尔为德国工程师和滑翔飞行家,世界航空先驱者之一。他最早设计和制造出实用的滑翔机,人称“滑翔机之父”。

李林塔尔1848年5月23日出生于安克拉姆,1896年8月10日死于柏林。他酷爱飞行,青少





年时期曾搞过“飞人”实验,成年之后,他以业余时间系统观察飞鸟。1889年,李林塔尔写成了著名的《鸟类飞行——航空的基础》一书,论述了鸟类飞行的特点。

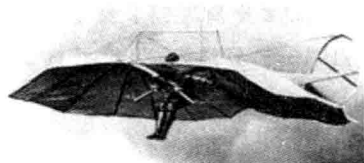
李林塔尔善于创制仪器,并进行航空实验来验证观察的结果。李林塔尔注意积累数据,总结经验,纠正了前人“多层叠置窄条翼”的片面做法,第一次提出了“曲面机翼比平面机翼升力大”的观点,为后来飞机的发明成功作出了决定性的贡献。

李林塔尔的最主要贡献还是成功的滑翔飞行。1891年,他制成一架蝙蝠状的弓形翼滑翔机,成功地进行了滑翔飞行,从而肯定了曲面翼的合理性。在1893—1896年的3年内,李林塔尔进行了2000次以上的滑翔飞行试验,3次改进总体布局,滑翔中又拍了许多照片,积累了大量数据,并以此编制了《空气压力数据表》,给美国、英国、法国等国的飞机制造者们提供了宝贵的资料。

1894年,李林塔尔从柏林附近的悬崖上起飞,成功地滑翔了350m,这在当时是一个惊人的成绩。他仔细地将自己的成就记录下来,使之成为航空史上最早的飞机性能记录之一。

但是,李林塔尔过于重视升力,而忽视了对飞机的操纵。他认为改变重心的位置是保持飞机稳定的唯一办法,这一失误对他来说是致命的。1896年,李林塔尔在飞行中遇到迎面突风,在他还未来得及将重心前移,便和飞机一同坠落到了地面。

李林塔尔于飞机失事的当天去世。德国人为了纪念他的功绩,为李林塔尔树立了一座纪念碑,上面写着“最伟大的老师”。



## 本章小结

(1)港口是具有水陆联运设备和条件,供船舶安全进出和停泊的运输枢纽。港口工程是兴建港口所需的各项工程设施的工程技术,包括港址选择、工程规划设计及各项设施(如各种建筑物、装卸设备、系船浮筒、航标等)的修建。港口工程也指港口的各项设施。港口工程原是土木工程的一个分支,随着港口工程科学技术的发展,已逐渐成为相对独立的学科。

(2)港口水工建筑物一般包括码头、防波堤、修船和造船水工建筑物。进出港船舶的导航设施(航标、灯塔等)和港区护岸也属于港口水工建筑物的范围。港口水工建筑物的设计,除应满足一般的强度、刚度、稳定性(包括抗震的稳定性)和沉陷方面的要求外,还应特别注意波浪、水流、泥沙、冰凌等动力因素对港口水工建筑物的作用及环境水(主要是海水)对建筑物的腐蚀作用,并采取相应的防冲、防淤、防渗、抗磨、防腐等措施。

(3)机场类型包括国际机场、干线机场、支线机场(亦称分线机场)。飞机场工程的主要建设内容有机场规划、跑道设计方案、航站区规划、机场维护等。跑道是机场飞行区的主体,直接供飞机起飞滑跑和着陆滑跑之用。机场跑道分为主要跑道、辅助跑道和起飞跑道三种。航站楼是供旅客完成从地面到空中或从空中到地面转换交通方式使用,是机场的主要建筑。

**独立思考**

- 10-1 港口按其用途可分为哪些类型?
- 10-2 何谓海岸港、河口港及避风港?
- 10-3 何谓河港和工业港?
- 10-4 港口主要由哪几部分组成?
- 10-5 港口规划主要考虑哪些因素?
- 10-6 港口布置应遵循的原则是什么?
- 10-7 码头的主要布置形式有哪几种?
- 10-8 按结构形式码头可分为哪几种类型?
- 10-9 防波堤的作用是什么?
- 10-10 护岸建筑的主要作用是什么?
- 10-11 机场类型主要有哪几种?
- 10-12 民航机场由哪几部分组成?
- 10-13 机场的主要跑道是什么含义?
- 10-14 何谓飞机场的机坪?
- 10-15 机场净空区的作用是什么?
- 10-16 航站楼的主要作用是什么?

**参考文献**

- [1] 罗福午. 土木工程(专业)概论. 武汉: 武汉工业大学出版社, 2001.
- [2] 刘瑛. 土木工程概论. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] 郑晓燕, 胡白香. 新编土木工程概论. 北京: 中国建材工业出版社, 2007.
- [4] 叶志明. 土木工程概论. 北京: 高等教育出版社, 2009.

## 11 工程防灾与减灾

### 【内容提要】

本章主要内容为工程灾害及其类型,地震灾害、风灾害、工程地质灾害的灾害程度和特征以及各种灾害的防治措施。本章的教学重难点为各种灾害及针对灾害采取的各项措施。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应熟悉什么是工程灾害及工程灾害的类型,地震灾害的特点及地震灾害对工程结构的影响;了解风灾害对工程结构的影响,以及地震灾害、风灾害、工程地质灾害的减轻和防治措施;掌握工程地质灾害的常见类型。

### 11.1 工程灾害的类型

什么是灾害?世界卫生组织将灾害定义为:“任何能引起设施破坏、经济严重受损、人员伤亡、健康状况恶化的事件,如其规模已超出事件发生社区的承受能力而不得不向社区外部寻求专门援助时,可称其为灾害。”

联合国 1989 年成立国际减灾 10 年(1990—2000 年)委员会,该委员会的专家组将灾害定义为:“灾害是指自然发生或人为产生的,对人类和人类社会具有危害后果的事件与现象。灾害是一种超出受影响社区现有资源承受能力的人类生态环境的破坏。”

这两个定义表述不同,但都包含两个基本概念:①灾害是破坏严重、损失巨大的事件;②事件已超出社区本身的承受能力。后者还强调了“灾害是自然发生或人为产生的”概念。

灾害分为自然灾害、人为灾害和人与自然共同作用而产生的危害。各种自然灾害古已有之,灾害一直是人类过去、现在、将来所面对的最严峻的挑战。21 世纪以来,随着社会的快速发展,灾害对人类社会造成的危害越来越触目惊心。世界范围内的重大突发性灾害包括地震、海啸、火山、旱灾、洪涝、台风、风暴潮、冻害、冰灾、雹灾、滑坡、泥石流、森林灾害等。全世界每年都会发生很多对土木工程有影响的灾害,严重的灾害造成了建筑物倒塌和破坏,使交通、通信、供水、供电的生命线中断,引起了大量的次生灾害,造成大量的人员伤亡、财产损失、城市瘫痪、社会动荡,导致严重的经济损失。2008 年更是全球灾害频发的大灾年,当年全球发生 300 余次较严重的自然灾害,直接造成近 23.6 万人死亡,受灾人数达 2.11 亿,直接经济损失约为 1810 亿美元,其他损失无法度量,影响深远。纳吉斯热带风暴在缅甸导致高达 13 万余人的死亡和失踪,是当年造成生命损失最惨重的灾难。此外,中国汶川发生特大地震,夺去了 8 万多人的生命,带来约 850 亿美元的经济损失,是当年经济损失最大的自然灾害。在严重自然灾害所造成的损失中,很大比例是直接由土木工程结构的倒塌破坏引起的。为了减轻自然灾害带来的各种损失,提高土木工程结构的抗灾能力不失为一种有效途径。土木工程专业在校大学生作为未来建筑结构领域的后备军,应培养良好的防灾减灾意识、提高专业素养、增强使命感,时时关注和思考自然灾害问题,为尽可能有效保护人民的生命财产安全,做好思想观念准备和专业知识和技能储备。

对土木工程影响较大的灾害自然灾害有地震、风灾、地质灾害,人为灾害有火灾、工程质量事故。

面对自然灾害,人类并不是完全无能为力的。实践证明,只要采取必要的防灾、减灾措施,就可以大大减小灾害损失。而认识结构,提高抗灾能力,是防灾、减灾措施的重要组成部分。

### 11.1.1 地震灾害

地震是地壳破坏引起的地面运动,这种地面运动具有突发性和不可预见性,为群灾之首,对土木工程结构造成严重破坏(图 11-1)。

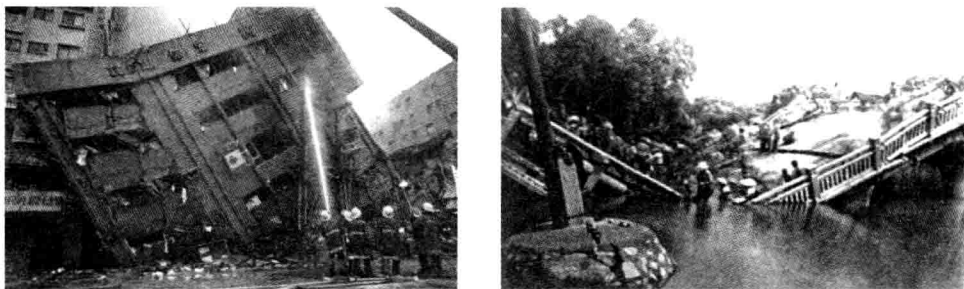


图 11-1 地震造成的房屋倒塌、桥梁断裂

#### 11.1.1.1 地震的基本知识

①地震震级:是表征地震大小或强弱的指标,是地震释放能量多少的尺度,也是地震的基本参数之一。据统计,地球上每年大约发生 500 万次地震,人们能够感觉到的只有 5 万多次,破坏程度较强的地震近 20 次。地震分 8 级,一般来说,小于 2 级的地震人们感觉不到,只有仪器能够测出来,称微震;2~4 级地震,人们可以感觉得到,称有感地震;5 级以上的地震会有不同程度的破坏,称为破坏性地震;7 级以上的地震称为强烈地震或大地震;大于 8 级的称为特大地震。目前,世界上已记录到的最大地震为 8.9 级,是 1960 年的智利大地震。

②地震烈度:是指某一地区的地面和各类建筑物遭受到一次地震影响的强弱程度。一次地震,震级只有一个,但烈度随与震中的距离远近而不同。为评定地震烈度,建立了一个标准,以描述震害宏观现象为主,此标准称为标准烈度表。

③地震类型:造成地震的原因很多,从成因可分为构造地震、火山地震和塌陷地震,此外还有水库地震、爆炸地震、油田注水地震等类型。

#### 11.1.1.2 地震灾害的特点

地震造成的经济损失是惊人的,认识地震特点对防灾、减灾意义重大。

①地震灾害具有突发性。这是地震显著的特点,人们必须有应急的准备。

②地震灾害破坏面积广、区域性强。地震造成大面积房屋倒塌与工程设施破坏,并改变自然环境。

③地震灾害具有持续性和多发性的特点。地震造成的破坏是持续的,会诱发出系列第二次灾害、第三次灾害……形成灾害链。

④地震灾害具有很大的灾难性。大地震会在几秒至几十秒的时间里,使美好家园变成一片废墟,人员伤亡和受灾人口之多罕见的。1920 年海原地震 23.4 万人丧生,1976 年唐山地震死亡 24.2 万人,1988 年澜沧地震虽然发生在云南边疆,但受灾人口多达 516 万。

⑤地震灾害的社会性和地震救灾的艰巨性。地震由于突发性强、伤亡惨重、经济损失巨大,它所造成的社会影响也比其他自然灾害更为广泛、强烈,往往会产生一系列的连锁反应,对于一个地区甚至一个国家的社会生活和经济活动会造成巨大的冲击,对人们心理上的影响也比较大。

地震的发生是不可避免的,但人类可以通过工程措施和非工程措施,减少地震对社会的影响。

#### 11.1.1.3 地震对工程结构的影响

地震灾害对其工程结构的影响主要表现三个方面,即地表破坏、工程结构破坏和因地震而引起的各种次生灾害。

①地表破坏。如地面裂缝、塌陷,喷水、冒砂等。此外,还有山体等自然物的破坏,如山崩、滑坡等,如图 11-2~图 11-5 所示。

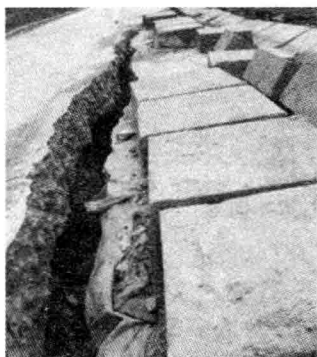


图 11-2 地震造成的地裂缝



图 11-3 地震造成的喷水、冒砂

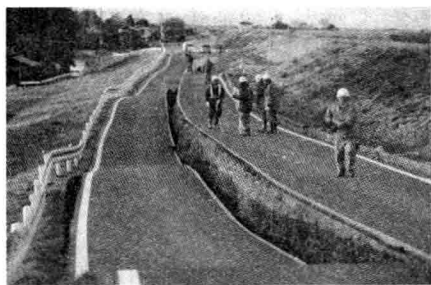


图 11-4 地震造成的地面塌陷

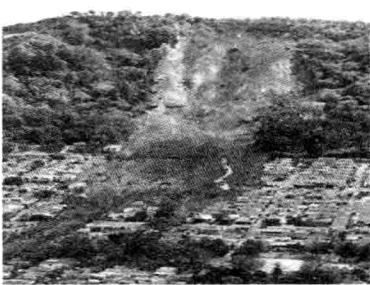


图 11-5 地震造成的山体滑坡

②建筑物与构筑物的破坏。如房屋倒塌、桥梁断落、水坝开裂、铁轨变形等。如图 11-6~图 11-9 所示。



图 11-6 地震造成的房屋倒塌

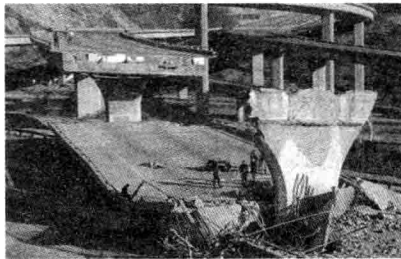


图 11-7 地震造成的桥梁断裂



图 11-8 1995 年阪神地震高架桥破坏



图 11-9 地震造成轨道变形

③次生灾害。次生灾害指强烈地震发生后,自然以及社会原有的状态被破坏,造成的山体滑坡、泥石流、水灾、瘟疫、火灾、爆炸、毒气泄漏、放射性物质扩散,对生命产生威胁等一系列因地震引起的灾害。这种由于地震引起的间接灾害,有时比地震直接损失还大。如 1923 年的日本东京大地震,倒塌房屋 13 万栋,而震后引起火灾却烧毁房屋 45 万栋,因为消防设备和水管被破坏,无法灭火,城市几乎全部烧光。1970 年秘鲁的 7.7 级地震, $5.0 \times 10^7 \text{m}^3$  的泥土石块使 1.8 万人葬身其中,是世界上最大的地震泥石流灾害,滑坡、泥石流进入江河会堵塞河道,造成地震水灾。其持续时间长,反复性大。2010 年 8 月 8 日舟曲泥石流的原因就是 2008 年 5 月 12 日汶川大地震造成的次生灾害。2004 年 12 月 26 日,印度尼西亚苏门答腊岛附近海域发生 8.7 级强烈地震,并引发海啸,造成 17.8 万人死亡,5 万人下落不明。

### 11.1.2 风灾害

大气层中空气的流动,气压差驱动空气从气压高的地方向气压低的地方流动,从而形成风,根据风速的大小,将风划分为 13 个等级。自然界中产生灾害的风包括台风、飓风、季风、龙卷风。

根据国外资料的统计,在所有自然灾害中,风灾害造成的损失占总的自然灾害的一半左右。随着土木工程建设的不断发展,造成的损失呈现出每年递增的趋势。而台风、飓风、龙卷风造成的损失占绝大部分。

大风造成的危害包括直接危害和间接危害。直接危害主要是大风对农、林业生产可造成直接损失及对土地造成土壤风蚀沙化;间接危害指传播病虫害和扩散污染物,由农作物无收而引起的饥荒、疾病等。风对土木工程建筑也有很大的危害。

#### 11.1.2.1 一些结构物的风灾害

##### (1) 大跨柔性桥梁的风毁

桥梁的风毁事故最早可以追溯到 1818 年,苏格兰的 Dryburgh Abbey 桥首先因风的作用而遭到毁坏。1940 年 11 月 7 日,美国华盛顿建成才 7 个月的、主跨 857m 的塔科马悬索桥在风速不到 20m/s 的 8 级大风作用下发生了强烈的振动,桥面经历了 70min 的振幅不断增大的扭转振动后,导致桥面结构折断坠落在峡谷(图 11-10)。1918—1940 年,相继有 11 座桥因风的作用而受到不同程度的破坏。近几年来,随着我国大跨度桥梁的建设,桥梁的风害也时有发生。例如,广东南海公路斜拉桥施工中吊机被大风吹倒,砸坏主梁;上海杨浦斜拉桥缆索的涡振和风雨振使索套损坏等。这些桥梁风害事故的发生使人们越来越意识到桥梁风害问题的重要性。



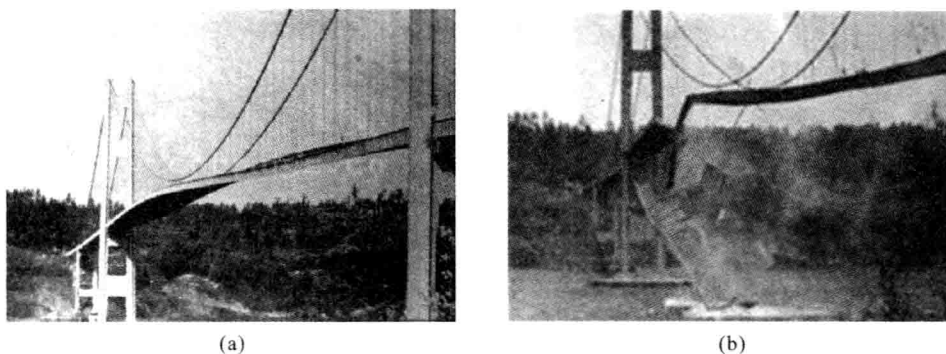


图 11-10 塔科马悬索桥的扭转破坏

(a) 破坏前;(b) 破坏后

### (2) 风引起房屋建筑的破坏

风对房屋建筑造成的破坏虽然不像桥梁结构那样是毁灭性的,但也是十分严重的,主要破坏为低矮建筑物的风毁、多高层建筑受损和幕墙饰面磨坏。

①对高层结构的破坏作用。例如,1926 年的一次大风使得美国一座叫 Meyer-Kiser 的十多层大楼的钢框架发生塑性变形,造成围护结构严重破坏,大楼在风暴中严重摇晃。

②对简易房屋,尤其是轻屋盖房屋造成的破坏。例如,2003 年一次台风袭击深圳,一民工工棚倒塌,造成 7 人死亡,10 余人受伤。又如,9914 号台风在厦门登陆,有  $3000\text{m}^2$  左右的轻型屋盖被吹落。

③对外墙饰面、门窗玻璃及玻璃幕墙的破坏。例如,1971 年 9 月竣工的美国波士顿约翰汉考克大楼(John Hancock Building),共 60 层,高 241m,自 1972 年夏天至 1973 年的 1 月,由于大风的作用,大约有 16 块窗玻璃破碎,49 块严重损坏,100 块开裂,后来不得不调换了所有的 10348 块玻璃,价值 700 万美元以上,不但超过了原玻璃的价格,同时,还因采取了其他防护措施增加了造价。该建筑的使用不仅被延误了 3 年半,而且造价从预算的 7500 万美元上升到了 15800 万美元。

### (3) 风引起高耸结构的破坏

在工程中,常见高耸结构主要是一些桅杆和电视塔,由于结构的刚度小,在风载下经常会产生较大幅度的振动,从而容易导致桅杆的疲劳或破坏。世界范围内曾发生了数十起桅杆倒塌事故。例如,1955 年 11 月,捷克一桅杆在风速达  $30\text{m/s}$  时因失稳而破坏;1963 年,英国约克郡高 386m 的钢管电视桅杆被风吹倒;1985 年,联邦德国 Bielstein 一座高 298m 的无线电视桅杆受风倒塌;1988 年,美国 Missouri 一座高 610m 的电视桅杆受阵风倒塌,造成 3 人死亡。1996 年 9 月 9 日,“莎莉”台风把湛江至茂名的 220kV 高压输电塔拦腰折断;1999 年 9 月 16 日,“约克”台风使湾仔数幢大厦的玻璃幕墙被飓风吹落,其中税务大楼、入境事务大楼及湾仔政府大楼共有 400 多块玻璃被吹毁(图 11-11);2005 年 8 月 6 日,“麦莎”台风摧毁了位于无锡的高压输电塔(图 11-12)造成 110kV 石龙线一基铁塔倒塌,一基铁塔倾斜的后果。

风还会造成其他的一些伤害,如供电线路的电杆埋深浅,在大风中容易被刮倒,造成停电事故,严重影响生产和生活。公交线路上的停车路牌受风面大且埋深浅也易在大风中刮翻。广告牌、标语牌在大风中广告牌吹翻砸伤行人的事是屡见不鲜的。

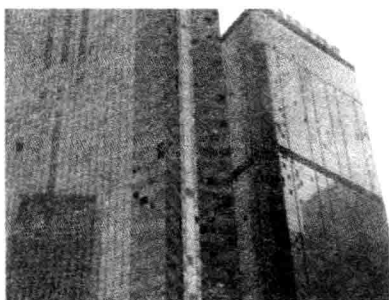


图 11-11 “约克”台风的影响

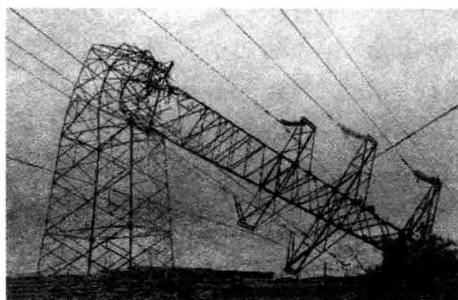


图 11-12 “麦莎”台风的影响

#### 11.1.2.2 风对结构的作用

风对结构的作用视为可变作用,和其他灾害作用比较,风荷载作用于结构上有如下特点:

- ①风作用在结构上,有平均风、脉冲风,脉冲风在工程结构中引起的振动要考虑。
- ②风对建筑物的作用与建筑物的外形直接有关。如在烟囱、高层建筑等一些自立式细长柱体结构物,在结构物背后的漩涡引起结构物的横向风的振动。
- ③风对建筑物的作用还受周围环境的影响。一般位于建筑物群中的建筑可能会出现更不利的风力作用,即有别的建筑物尾流中的气流引起的振动。
- ④风力作用在建筑物上的分布很不均匀,在角落区和立面内收区域会产生较大的风力作用。
- ⑤相对于地震作用而言,风力作用持续时间较长,往往达到几十分钟甚至几个小时。

#### 11.1.2.3 风作用对结构产生的后果

不同季节的风作用于结构上,会产生以下结果:

- ①使结构或结构构件受到较大风力,处于不稳定状态。
- ②风力作用使结构开裂或留有较大的残余变形。
- ③使结构或结构构件产生过大的挠度和变形,引起外墙、外装修材料的损坏。
- ④由于反复的风振作用,引起结构或结构构件的疲劳破坏。
- ⑤由于过大的振动,使建筑物的居住者或有关人员产生不舒适感。

### 11.1.3 地质灾害

地质灾害是指由于自然作用和人为活动作用可能导致地质环境或地质体发生变化,当这种变化达到一定程度时所产生的后果给人类和社会造成的危害。常见的地质灾害主要有滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降、地面塌陷、地裂缝、沙土液化、岩土膨胀、冻融、沙漠化、沼泽化、土地盐碱化以及地震、火山爆发等。每一种地质灾害都会造成不同程度的损失,不仅会造成建筑物的破坏,而且会破坏周围环境,造成经济损失和人员伤亡。其中,滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降和地面沉陷为主要地质灾害。

地质灾害产生的原因是多方面的,是很多因素相互作用的结果。人类在改造大自然的过程中,由于没有充分认识大自然自身的规律,地质灾害的发生也是不可避免的。地质灾害的发生原因、机理在工程地质课程中讲述。在此,仅对基本概念作简要介绍。

崩塌是高陡斜坡(含人工边坡)上的岩土体完全脱离母体后向下倾倒、翻滚、跳动、坠落的过程。多发生在地形切割强烈的陡峭山体斜坡的中上部位。崩塌的引发因素有:①大气降水。降水形成

的地表水冲刷坡脚,导致坡脚掏空;同时降水沿裂隙渗入坡内,增大了对边坡岩体的动水压力和静水压力,软化或掏蚀了裂隙中充填物,增加了岩体重力,有利于崩塌的产生。②人类工程活动。人类工程活动(采矿、切坡)的影响是崩塌形成的较重要因素。

滑坡是斜坡上的岩体和土体,在重力的作用下,沿一定的滑动面整体下滑的现象。泥石流是山区爆发的特殊洪流,它包含泥沙、石块以及巨大的砾石,破坏力极强。我国山区面积占国土面积的 $\frac{2}{3}$ ,地表的起伏增加了重力作用,加上人类不合理地开发各种资源,地表结构遭到严重破坏,使滑坡、泥石流成为一种分布较广的自然灾害。2010年8月7日晚甘肃省甘南藏族自治州舟曲县受局部强降雨影响,于当日23:40分左右县城后山三眼峪沟及罗家峪沟突发大规模泥石流,造成重大的生命财产损失。遇难人数为1287人,失踪人数为457人;泥石流冲毁房屋5500余间,掩埋、冲毁耕地1400余亩;受灾最严重的月圆村几乎被全部掩埋。泥石流还穿过舟曲县城,冲毁县城一部分街道和房屋,毁坏公路桥、人行桥共8座,在白龙江内形成长约550m、宽约70m的堰塞坝,堰塞坝堵塞白龙江并形成回水长3km的堰塞湖,堰塞湖使白龙江上一座大型公路桥被淹没,县城一半被淹,城区电力、通信、供水中断(图11-13)。



(a)



(b)

图 11-13 甘肃舟曲泥石流

地面沉降是指地面在自然引力作用下或人类活动的影响下,由于地下松散土层固结压缩,导致地面局部的下降运动。在遇到强地震时,由于沙土液化造成的地基失效、地面不均匀沉降发展较快。地面塌陷是指地表岩、土体在自然或人为因素作用下向下陷落并在地面形成塌陷坑(洞)的一种动力现象。其特点是突然发生,并在地面上形成局部或大面积的塌陷坑洞。地面沉降的影响范围广,造成的损失严重,而地面塌陷的影响范围较小。近年来,我国许多大城市,出现了越来越严重的地面沉降,上海、苏州等城市沉降量已经远大于1m,地面沉降一般不会直接造成人员伤亡,但会造成严重的经济损失。据相关资料统计,地面沉降每年直接经济损失达几十亿。大地沉降仍在继续发展之中。

地质灾害具有以下特性:地质灾害的必然性和可防御性,地质灾害的随机性和周期性,地质灾害的突发性和渐进性,地质灾害的群体性和诱发性,地质灾害的成因多元性和原地复发性,地质灾害的区域性,地质灾害的破坏性与“建设性”,地质灾害的复杂性和严重性,人为地质灾害的日趋显著性,地质灾害防治的社会性和迫切性。

#### 11.1.4 其他灾害

除了自然灾害,一些人为灾害给人类造成的损失也非常惨重。人为灾害是管理失误和漠视安全生产造成的,如火灾、工程腐蚀和一些存在设计缺陷、施工质量差的工程。所以应该在工程设计、施工、管理、使用过程中尽可能避免人为灾害,对灾害进行事先预估、分析评价,制订具体预案,降低

灾害发生的概率。

我国地域辽阔,经度和纬度跨度大,自然地理条件复杂,构造运动强烈,自然地质灾害种类繁多,灾情十分严重。同时,我国又是一个发展中国家,经济发展对资源开发的依赖程度也相对较高,大规模的资源开发和工程建设以及对地质环境保护重视不够,人为地诱发了很多地质灾害,使我国成为世界上地质灾害最严重的国家。因此,如何防灾、减灾、救灾及对灾害损失进行评价,成为近年来备受土木工程关注和重点研究的课题。《国家防灾减灾人才发展中长期规划(2010—2020年)》也已经明确指出了防灾、减灾机制的建立和人才的培养目标。

## 11.2 工程灾害的防治

工程灾害的防治越来越受到重视,地质灾害防治工程体系是一个信息反馈工程体系,它包括区域调查、重点地质灾害勘察、监测、防治工程可行性研究、初步设计和施工图设计、施工、监理与管理等。地质灾害防治以“以防为主、防治结合、全面展开、重点突破”为基本目标,因此,应建立既非基于几何,也非基于工程,而是基于成因机制分析的地质灾害防治工程设计原则。灾害类型很多,防治措施也相应不同,本节主要针对地震灾害、风灾害、工程地质灾害提出相应防治措施。

### 11.2.1 地震灾害的防治

进入21世纪,城市化建设的步伐加快,城市地震出现新特点,城市地震灾害的数量不断上升,地震造成的人口伤亡和财产损失也越来越严重,地震会导致生态环境的破坏。现代化的城市创造和集中了大量的社会财富。摩天大楼、立体化的交通、非农产业的大量聚集和人口高度的集中均表现在城市中,城市建筑不断向高层、向多功能方向发展。伴随着城市的发展,使得现代社会遭受地震灾害的易损性变得更为复杂,一旦发生地震,单位面积所承受的损失大大增加。现在的城市建立在信息发展的基础上,一旦发生破坏性地震,导致各种信息线路遭到破坏,则很大程度上使得城市内外无法及时联系,延误救援和救灾工作的开展,更大范围则可能造成城市瘫痪。同时地震造成的建筑物和工程设施的倒塌而引发大量的火灾、爆炸、煤气或其他有毒气体的泄漏等次生灾害,这些次生灾害许多时候比地震本身的灾害要严重许多,所以需要做好防震措施。

减轻城市地震的灾害,主要有以下六方面:①震前预防;②城市抗震规划和建设;③新建工程的地震安全性评价;④建设抗震防灾体系;⑤震后应急救助;⑥控制灾害衍生。

#### 11.2.1.1 减轻地震灾害的基本对策

减轻地震灾害的基本对策有地震预测预报、工程抗震。地震预测预报分为长期预报、中期预报、短期预报、临时预报,正确的预报可大大减少人员伤亡和经济损失,但现阶段很准确地预报地震还存在许多难以解决的问题。工程抗震目前是最有效、最根本的措施,工程抗震的目的是通过工程技术提高城市综合抗御地震的能力和各类建筑物耐震性能,当突发性地震发生时,把地震灾害减小到较轻的程度。我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)提出了“三水准”的抗震设防目标,即“小震不坏,中震可修,大震不倒”。换言之,就是当工程结构遭受到强烈破坏性地震时允许结构有一定程度的损坏但不应倒塌。实践证明,经过正确设防的工程结构在经受强烈地震后损坏较小。

##### (1) 基本抗震设防的目标

当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时,主体结构不受损坏或不需修理可继续使用;当遭受相当于本地区抗震设防烈度的设防地震影响时,可能发生损坏,但经一般性修理仍可继

续使用;当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时,不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。使用功能或其他方面有专门要求的建筑,当采用抗震性能化设计时,具有更具体或更高的抗震设防目标。

### (2)地震发生后及时抢险救灾和重复修建

随着现代化建筑的发展,发生地震时仅凭人力救援是远远不够的,应成立专业紧急救援队伍并配备专业设备,如警犬和电视成像系统在救援系统中的应用。我国制定了《国家破坏性地震应急预案》以保证在发生地震时政府采取及时有效的应对措施,减轻地震灾害,使震后抢险救援工作得以顺利进行,从而更好地帮助受灾人员重建家园及恢复正常的生产和生活秩序。

### (3)城市防灾、减灾中高新技术的研究和应用

我国在整体上还未建立起完善的基于遥感和计算机网络的防灾、减灾系统,与发达国家相比还有较大差距。美国及欧共体建立了多级抗灾遥感计算机网络和抗灾救灾决策系统,欧盟国家已将卫星遥感应用到灾害形成过程、预警、减灾、灾害评估与管理中,澳大利亚的灾害遥感系统已在国家的防灾规划及管理发挥了重大作用。

#### 11.2.1.2 结构隔震和消能减震措施

传统的抗震设计是利用材料的强度和结构构件的塑性变形能力来抵抗地震作用,使建筑物免遭破坏或不至于倒塌。隔震(免震)技术是指在房屋基础、底部或下部结构与上部结构之间设置由橡胶隔振支座和阻尼装置等部件组成具有整体复位功能的隔震层,以延长整个结构体系的自振周期,减少输入上部结构的水平地震作用,达到预期防震要求。上部结构的地震反应大大减小,振动减轻,结构不致发生破坏,人员安全和财产安全均可以得到保证。

消能减震设计指在房屋结构中设置消能器,通过消能器的相对变形和相对速度提供附加阻尼,以消耗输入结构的地震能量,达到预期防震、减震要求。《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)对此要求作了规定。消能减震类型包括消能支撑、消能剪力墙、消能节点、消能连接。消能构件装置按工作方式和工作原理分为:摩擦消能、钢件非弹性变形消能、材料塑性变形消能、材料黏弹性消能、流体阻尼消能、磁流变阻尼器、电阻变阻尼器。

#### 11.2.2 风灾害的防治

风对桥梁结构、房屋建筑、高耸结构以及其他土木工程结构不仅具有很重要的影响,而且可能导致严重的风灾害,目前将土木工程设计成能直接抵御风灾的破坏是不可能的。为了有效地预防和控制土木工程结构风灾害的发生,主动认识风作用的机理,评估风灾害,开展有关风结构作用和结构对风的响应以及减小结构风对结构影响的措施,逐渐形成了一门多领域交叉学科——风工程。现代风工程的研究是从对塔科马大桥风致动力灾害的事故调查开始的。经过风工程研究者和结构工程师的几十年的努力,基本弄清各种灾害性风气候和结构风致振动现象。但理论研究还处在半经验性的阶段,数值模拟精度还有待提高,风洞试验还需要更加精细化;方法上逐渐形成了基于理论研究、风洞试验和现场实测的现代风工程体系。未来应当更加注重研究风致结构损伤及失效机理、风致动力灾变过程模拟及预测、基于性能的抗风可靠分析及设计等。

防灾、减灾对策如下:

①设计合理的建筑体型。如采用流线型平面;选择斜锥状体型;控制结构的高宽比;在高层中局部开洞或形成透空层;在城市建设高层建筑,采用“并联高楼群”的方案。

②控制装置是结构抗风的新方法和新途径。结构抗风控制技术是在结构上附设控制构件和控



制装置,在结构振动时通过被动或主动地施加控制力来减小和控制结构的动力反应,满足结构的安全性、使用性和舒适度的要求。

③考虑风荷载,进行抗风结构设计。

### 11.2.3 地质灾害的防治

现代科学认为各种灾害具有偶然性和地区局限性,但也有明显的相关性和规律性。开展“国际减轻自然灾害十年”活动的目的,就是将当今世界特别是发展中国家由于自然灾害造成的人民生命财产损失减轻到最低程度。

#### 11.2.3.1 防灾、减灾的基本原则

- ①树立全民减灾意识,提高全社会的防灾、抗灾能力。
- ②以防为主,防灾、抗灾、救灾相结合。
- ③突出重点,兼顾一般。
- ④减灾与发展并重,确定可持续发展的减灾对策。
- ⑤积极开展灾害科学研究,充分发挥政府的协调职能。
- ⑥避免盲目发展,保护生态环境。

#### 11.2.3.2 减轻地质灾害的措施

①进行地质灾害监测。监测内容包括成因监测、灾害过程监测以及地质灾害防治效益的反馈监测。现阶段,灾害监测的方式多种多样,一些新技术也得以应用,如在滑坡、崩塌监测中,逐渐采用了多种可遥测、遥控,自动记录的变形监测、岩体应力监测、红外线激光测距监测等。

②进行地质灾害预报。灾害预报是减灾准备和各项减灾行动的科学依据。我国对突发性地质灾害的预报成功率还很低。地质灾害预报用到多学科的知识。美国旧金山地区,通过布设气候、地面变形和地下水动态监测网,利用遥测装置和中央控制室与通信网相连,在深入分析各分区降雨量、地下水、地面变形及其与滑坡的关系基础上,建立了合理的模型和滑坡滑动的降水量判据,并对滑坡滑动的危险作出成功的预警。

③灾害评估。灾害评估是对灾害规模和灾害破坏损失程度的估测与评定,可分为灾前预评估、灾时跟踪评估、灾后评估。

④灾害防治。灾害防治的根本目标是取得最佳的减灾成果,要达到这个目的,必须遵循预防为主、全面规划与重点防治相结合、地质灾害防治与社会经济活动相结合、防治工程最优化的原则。地质灾害防治是投入比较巨大的工程,所以需要多种方案比选,既安全又经济才是合理的。

⑤抗灾与救灾。抗灾是指在灾害威胁下对固定资产所采取的工程性保护措施。我国自古就有丰富的抗灾经验,修建了很多抗灾工程,如都江堰的分洪工程、黄河大堤、全国多座水库以及“三北”防护林。抗灾工程的投入,可以取得比较大的减灾效益。救灾是灾害已经发生后的减灾措施。

#### 11.2.3.3 地质灾害的防治的工程措施

①滑坡灾害的防治措施:锚杆加固法、建立护坡和挡土墙、降低坡度法,有时三种方法同时采用。锚杆加固法通过在不稳定土体打入锚杆,增强土体的整体性,锚杆打入深度必须穿过不稳定土体。护坡能够保护坡体不受暴雨直接冲刷,减少雨水侵蚀强度,起到保护土体的作用。挡土墙挡住土体,避免了重力滑坡。降低坡度法是通过山体开挖,降低山体坡度,一方面使不稳定土体质量减

少;另一方面由于滑动面坡度变缓,所受的剪力减小。

#### ②泥石流灾害的防治措施:

a. 治水,把山坡上的地表洪水径流引走,削弱水动力条件,使水土分离、山坡稳定。

b. 道路以跨越或穿越工程通过泥石流地区。

c. 修建防护工程,如护坡、挡墙、丁坝。

d. 拦挡工程,在泥石流地区修筑各种拦截坝或溢流坝,逐渐削弱泥石流的危害。

③崩塌灾害的防治措施:遮挡崩塌落石、支撑加固、镶补勾缝、护面加固、放坡和排水等。

④地面沉降的防治措施:人工补给地下水;限制地下水开采,调整开采层次,以地面水源代替地下水;做好城市规划,对高层和超高层建筑可能带来的地质灾害问题进行评估,并采取有效的措施。

### 知识延伸

#### 地质灾害预警系统

“山崩、地裂、地面塌陷、泥石流、火山爆发、洪水淹城……”电影《2012》为人们描绘出世界末日场景的同时,也为当今世界敲响了警钟,即频发的自然灾害正越来越多地给人类带来巨大破坏。

地质灾害广泛分布于世界上大多数国家和地区,给人们生命财产带来了严重威胁。对于地质灾害,各国都有不同的对策。

早在上个世纪,美国和日本已开始针对本国的灾害问题进行立法,同时不断引进防灾新技术,修建抗灾工程,研究灾害机制。建立和发展了适合各自国情的减灾系统工程,使得美日两国抵抗自然灾害的能力大幅度提高,减少了灾害对经济的负面效应。

美国非常重视对地质灾害的调查,在重点区域开展调查研究,同时开展降雨量监测、地面变形监测等。在此基础上,完善地质灾害预报,制订安全的土地规划等。据了解,美国每年由于地质灾害造成的经济损失均为16亿~30亿美元。为此,美国制订了长远的减灾战略规划,详细部署地质灾害防治的各个环节。总体来看,重视地质灾害自身的调查研究是美国预警防治机制的基础。

与美国相比,日本则有着其自身的特点,即国土地势狭长陡峭,地质条件差,极易发生土砂灾害。有资料显示,日本全国共有泥石流溪沟190130条,滑坡危险区92390处,陡坡地崩塌危险区117025处,活火山86处。每年发生台风20余次,雪崩也是日本多发的灾害。最具日本特色的是,在地质灾害预警防治方面,日本率先走出了立法保障的道路,完善制定了多部相关防治法律法规,这也贯穿于日本地质灾害防治的历史。

我国建立了基于遥感技术、地理信息系统、全球定位系统和地质灾害监测技术,以一定范围内的滑坡、泥石流、崩塌等地质灾变体为研究对象,对其数据进行观测、处理、分析,对灾变体的稳定状态和变化趋势作出判断,对未来可能发生灾害的地段作出预测。

### 本章小结

(1)灾害是指自然发生或人为产生的,对人类和人类社会具有危害后果的事件与现象。灾害是一种超出受影响社区现有资源承受能力的人类生态环境的破坏。灾害包括地震、海啸、火山、旱灾、洪涝、台风、风暴潮、冻害、冰灾、雹灾、滑坡、泥石流、森林灾害等。

(2)地震灾害、风灾害、各种地质灾害、人为灾害的特征及危害程度。

(3)针对主要的灾害类型,介绍了针对性的防治措施及防灾、减灾的发展方向。



### 独立思考

- 11-1 什么是工程灾害？工程灾害的类型有哪些？
- 11-2 地震灾害的特点有哪些？地震灾害对工程结构的影响是什么？
- 11-3 地震造成的次生灾害有哪些？
- 11-4 强风暴对工程结构的破坏有哪些？
- 11-5 常见的工程地质灾害类型有哪些？
- 11-6 抗震结构的设计方法和内容是什么？
- 11-7 减轻工程地质灾害的措施有哪些？

### 参考文献

- [1] 周云,李伍平.土木工程防灾减灾概论.北京:高等教育出版社,2005.
- [2] 项海帆,沈祖炎,范立础.土木工程概论.北京:人民交通出版社,2007.
- [3] 叶志明.土木工程概论.北京:高等教育出版社,2009.
- [4] 段树金.土木工程概论.北京:中国铁道出版社,2005.
- [5] 陈祥军,王景春.地质灾害防治.北京:中国建筑工业出版社,2011.

## 12 建设项目管理

### 【内容提要】

本章主要内容为建设程序与建设法规、工程的项目管理、工程项目的招标投标程序、建设工程的监理。本章的教学重点是建设程序与建设法规、工程项目的招标投标程序、建设工程的监理;教学难点是工程的项目管理。

### 【能力要求】

通过本章的学习,学生应了解建设程序与建设法规,熟悉工程的项目管理、工程项目的招标投标程序、建设工程的监理。

项目的建设程序是指一个建设项目从提出项目建议书到该项目建成投入生产或使用的全过程、全阶段的建设活动的先后顺序和相互关系科学的程序。

在工程项目的建设过程中既要遵守相应的国家、行业、地方的建设法规,同时也要熟悉工程项目的管理方法,提高项目的管理水平。在项目的招投标中要熟悉招投标的相关程序,了解招投标的内容。在加强项目管理的同时,为保证项目的安全、质量、进度、成本等指标的顺利进行还要加强对项目的监理。

### 12.1 建设程序与建设法规

#### 12.1.1 建设程序

##### (1)建设程序基本概念

项目的建设程序是指工程项目从策划、评估、决策、设计、施工到竣工验收、投入生产或交付使用的整个建设过程,各项工作必须遵循的先后工作顺序。

##### (2)建设程序各阶段主要内容

###### ①项目建议书阶段。

项目建议书是项目建设最初阶段的工作,项目建议书是以自然资源和市场预测为基础,以便在一个确定的地区或部门内选择建设项目。

###### ②可行性研究阶段。

可行性研究是在项目建议书被批准后,对项目在技术上和经济上是否可行所进行的科学分析和论证。

根据《国务院关于投资体制改革的决定》(国发[2004]20号),对于政府投资项目需审批项目建议书和可行性研究报告。对于企业不使用政府资金投资建设的项目,一律不再实行审批制,区别不同情况实行核准制和登记备案制。对于《政府核准的投资项目目录》以外的企业投资项目,实行备案制。

###### ③勘察设计阶段。

勘察是为设计提供依据,设计一般划分为两个阶段,即初步设计阶段和施工图设计阶段,对于大型复杂项目,可根据不同行业的特点和需要,在初步设计之后增加技术设计阶段。初步设计是设计的第一步,如果初步设计提出的总概算超过可行性研究报告投资估算的10%或其他主要指标需要变动时,要重新报批可行性研究报告。初步设计经主管部门审批后,建设项目被列入国家固定资产投资计划,方可进行下一步的施工图设计。施工图一经审查批准,不得擅自进行修改,若修改必须重新报请原审批部门,由原审批部门委托审查机构审查后再批准实施。

#### ④施工准备阶段。

建设准备阶段主要内容包括:组建项目法人、征地、拆迁、“三通一平”乃至“七通一平”;组织材料、设备订货;办理建设工程质量监督手续;委托工程监理;准备必要的施工图纸;组织施工招投标,择优选定施工单位;办理施工许可证等。按规定做好施工准备,具备开工条件后,建设单位申请开工,进入施工安装阶段。

#### ⑤施工安装阶段。

建设工程具备了开工条件并取得施工许可证后方可开工。项目新开工时间,按设计文件中规定的任何一项永久性工程第一次正式破土开槽时间而定。不需开槽的以正式打桩作为开工时间。

铁路、公路、水库等以开始进行土石方工程作为正式开工时间。

#### ⑥生产准备阶段。

对于生产性建设项目,在其竣工投产前,建设单位应适时地组织专门班子或机构,有计划地做好生产准备工作,包括招收、培训生产人员;组织有关人员参加设备安装、调试、工程验收;落实原材料供应;组建生产管理机构,健全生产规章制度等。生产准备是由建设阶段转入经营的一项重要工作。

#### ⑦竣工验收交付使用阶段。

工程竣工验收是全面考核建设成果、检验设计和施工质量的重要步骤,也是建设项目转入生产和使用的标志。验收合格后,建设单位编制竣工决算,项目正式投入使用。

#### ⑧项目后评价阶段。

建设项目后评价是工程项目竣工投产、生产运营一段时间后,在对项目的立项决策、设计施工、竣工投产、生产运营等全过程进行系统评价的一种技术活动,是固定资产管理的一项重要内容,也是固定资产投资管理的最后一个环节。

### 12.1.2 建设法规

#### (1)建设法规基本概念

建设法规是国家权力机关或授权的行政机关制定的,旨在调整国家管理机关、企事业单位、社会团体以及自然人之间在建设活动或建设行政管理活动中,发生的各种社会关系的法律、法规的统称。

#### (2)建设法规体系

建设法规体系,是将已经颁布和需要制定的法律、法规、规章科学地衔接起来,形成一个紧密联系、相互补充、协调配套的完整统一体系,用以指导和规范建设立法工作。建设法规体系也可称建设法规构成,其基本框架由纵向结构、横向结构和相关法规所组成。

建设法规体系的构成:

##### ①建设法律。

##### ②建设行政法规。

- ③建设部门规章。
- ④地方性建设法规。
- ⑤地方性建设规章。
- (3)典型的建设法律

- ①《建筑法》。

通常所说的《建筑法》是指《中华人民共和国建筑法》，经 1997 年 11 月 1 日第八届全国人大常委会第 28 次会议通过，根据 2011 年 4 月 22 日第十一届全国人大常委会第 20 次会议《关于修改〈中华人民共和国建筑法〉的决定》修正，自 1998 年 3 月 1 日起施行。《建筑法》分为总则、建筑许可、建筑工程发包与承包、建筑工程监理、建筑安全生产管理、建筑工程质量管理、法律责任、附则共八章八十五条。它是我国第一次以法律的形式规范建筑活动的行为。它的公布，确立了我国建筑活动的基本法律制度，标志着我国建筑活动开始纳入依法管理的轨道；它的施行，对加强建筑活动的监督管理，维护建筑市场秩序，保障建筑工程的质量和安全，促进建筑业的健康发展，保护建筑活动当事人的合法权益，具有重要的意义。

《建筑法》的立法目的：加强对建筑活动的监督管理；维护建筑市场秩序；保证建筑工程质量和安全；促进建筑业健康发展。

- ②《合同法》。

《合同法》是调整平等主体之间的交易关系的法律，它主要规范合同的订立、合同的效力、合同的履行、变更、转让、终止、违反合同的责任及各类有名合同等问题。在我国，《合同法》是我国《民法通则》的重要组成部分。

《合同法》的基本原则：遵守法律、法规原则；平等、自愿、公平原则；诚信原则；等价有偿原则；不损害社会公共利益和扰乱社会经济秩序的原则。

订立合同的程序：订立合同应具备要约和承诺两个阶段。《合同法》第十三条规定：“当事人订立合同，采取要约、承诺方式。”《合同法》第十四条规定：“要约是希望和他人订立合同的意思表示。”《合同法》第二十一条规定：“承诺是受要约人同意要约的意思表示。承诺一旦作出，并送达要约人，合同即可成立，要约人不得加以拒绝。”

工程中常见的有勘察设计合同、施工合同等。

- ③《招标投标法》。

《招标投标法》是国家用来规范招标投标活动、调整在招标投标过程中产生的各种关系的法律规范的总称。我国现行的《招标投标法》经中华人民共和国第九届全国人民代表大会常务委员会第 11 次会议 1999 年 8 月 30 日通过，自 2000 年 1 月 1 日起施行，旨在规范招标投标活动，保护国家利益、社会公共利益和招标投标活动当事人的合法权益，提高经济效益，保证项目质量。

《招标投标法》的基本原则：公开原则、公平原则、公正原则、诚实信用原则。

- (4)建设行政法规

- ①《建设工程质量管理条例》。

《建设工程质量管理条例》经 2000 年 1 月 10 日国务院第 25 次常务会议通过，2000 年 1 月 30 日起发布施行，旨在加强对建设工程质量的管理，保证建设工程质量，保护人民生命和财产安全，全文共九章八十二条。《建设工程质量管理条例》调整的建设工程质量责任主体包括建设单位、勘察单位、设计单位施工单位以及工程监理单位。

- ②《建设工程安全生产管理条例》。

《建设工程安全生产管理条例》经 2003 年 11 月 12 日国务院第 28 次常务会议通过，自 2004 年

2月1日起施行,旨在加强对建设工程安全生产的监督管理,保障人民群众生命和财产安全,全文共八章七十一条。该条例对建设单位、设计单位、施工单位、监督管理部门等提出了相应的安全生产要求,并对工程的应急救援提出了详细的说明。

### ③《建设工程勘察设计管理条例》。

《建设工程勘察设计管理条例》经2000年9月20日国务院第31次常务会议通过,自2000年9月25日起施行,旨在加强对建设工程勘察、设计活动的管理,保证建设工程勘察、设计质量,保护人民生命和财产安全。该条例从资质资格、设计承包对设计单位进行了详细的要求和说明,并提出了相应的监督管理和处罚细则。

### (5)建设部门规章

建设部门规章主要是指相关建设部门根据法律和国务院的行政法规、决定、命令,在本部门的权限内,发布的命令、指示和规章。

如中华人民共和国原建设部1999年颁布的《建设工程勘察设计市场管理规定》,原铁道部2003年颁布的《铁路建设管理办法》等。

## 12.2 工程的项目管理

施工项目管理是指企业运用系统的观点、理论和科学技术对施工项目进行的计划、组织、监督、控制、协调等全过程管理。其目标是指施工项目实施过程中预期达到的成果或效果。

施工项目管理目标是多方位面、多层次的,它是由许多目标构成的一个完整的目标体系,又是企业目标体现的重要组成部分。

工程的项目管理主要包括:安全管理、质量管理、技术管理、进度管理、成本管理、现场管理、合同管理等。

### 12.2.1 项目的安全管理

施工现场安全管理是指建筑施工企业按照国家有关安全生产法规和本企业的安全生产规章制度,以直接消除生产过程中出现的人的不安全行为和物的不安全状态为目的的一种安全管理活动。

项目安全管理的主要内容有:建筑施工安全管理措施、建筑分部分项工程安全管理、施工现场脚手架工程安全管理、施工现场各工种安全操作、施工现场机械安全管理、施工现场防火防爆安全管理、高处作业安全防护与季节性施工安全管理、拆除工程安全管理、施工现场临时用电安全管理、建筑施工伤亡事故管理、建筑施工安全检查验收等。

### 12.2.2 项目的质量管理

项目的质量管理包括:质量管理体系、施工项目质量控制、施工质量控制实施要点及常见质量通病防治、建筑工程施工质量验收、建筑工程质量事故处理等。

#### (1)施工项目质量计划

施工项目质量计划是指确定施工项目的质量目标和如何达到这些质量目标所规定必要的作业过程、专门的质量措施和资源等工作。施工项目质量计划应由项目经理主持编制。

质量计划作为对外质量保证和对内质量控制的依据文件,应体现施工项目从分项工程、分部工程到单位工程的过程控制,同时也要体现从资源投入到完成工程质量最终检验和试验的全过程。

### (2) 施工项目质量控制

施工项目质量控制的内容主要包括:人的控制、材料的控制、机械设备的控制、施工方法的控制等。

### (3) 质量控制方法

PDCA 法,PDCA 是指由计划(Plan)、实施(Do)、检查(Check)和处理(Action)四个阶段组成的质量控制体系。

### (4) 工程质量问题的分析及处理

工程质量问题主要有:违背建设程序和法规、工程地质勘察失误或地基处理失误、设计计算问题、建筑材料及制品不合格、施工与管理失控、自然条件的影响、建筑结构或设施的使用不当。工程质量问题处理主要涉及工程质量问题处理程序和工程质量问题处理方案的确定。

### (5) 建筑工程质量验收程序和组织

建筑工程质量验收应划分为单位工程、分部工程、分项工程和检验批的质量验收。

①所有检验批和分项工程均应由监理工程师(建设单位项目技术负责人)组织施工单位项目专业质量(技术)负责人等进行验收。

②分部工程由总监理工程师或建设单位项目负责人组织施工单位项目负责人和技术、质量负责人等进行验收;地基与基础、主体结构分部工程的勘察、设计单位工程项目负责人和施工单位技术、质量部门负责人也应参加相关分部工程的验收。

③单位工程完成后,施工单位首先要依据质量标准、设计图纸等组织有关人员进行自检,并对检查结果进行评定,符合要求后向建设单位提交工程验收报告和完整的资料,请建设单位组织验收。

④建设单位收到工程验收报告后,应由建设单位(项目)负责人组织施工单位(含分包单位、设计单位、监理单位等项目负责人)进行单位(子单位)工程验收。

⑤单位工程有分包单位施工时,分包单位对所承包的工程项目应按上述的程序进行检查验收,总包单位要派人参加。分包工程完成后,应将工程有关资料交给总包单位。

⑥当参加验收各方对工程质量验收意见不一致时,可请当地建设行政主管部门或工程质量监督机构协调处理。

⑦单位工程质量验收合格后,建设单位应在规定时间内将工程竣工验收报告和有关文件,报建设行政管理部门备案。

## 12.2.3 项目的技术管理

施工项目技术管理是施工项目经理对所承包的施工项目的各项技术活动、技术工作以及与技术相关的各种生产要素进行计划、实施、总结和评价的系统管理活动。

建立项目的技术管理制度:图纸会审制度、施工组织设计管理制度、技术交底制度、材料与设备检验制度、工程质量检查及验收制度、工程技术资料管理制度等。

## 12.2.4 项目的进度管理

项目的进度管理是指在项目实施过程中,对各阶段的进展程度和项目最终完成的期限所进行的管理。首先要拟订出合理且经济的进度计划,在执行的过程中,要经常检查实际进度情况,若出现偏差,便要及时找出原因,采取必要的补救措施或调整、修改原计划,直至项目按期完成。常见的形式有横道图、网络图、时标网络计划等。

项目进度控制程序:

①确定施工进度目标,明确开工日期、总工期和竣工日期。

②编制施工进度计划,安排实现计划目标的工艺关系、组织关系、搭接关系、起止时间、劳动力计划、材料计划、机械计划及其他保证性计划。

③向监理工程师提出开工申请报告,按监理工程师开工令确定开工日期。

④实施施工进度计划。

⑤施工项目进度的检查。

⑥施工进度计划的调整与总结。

施工进度计划的调整应根据施工进度计划检查结果,在进度计划执行发生偏离的时候,通过对施工内容、工程量、起止时间、资源供应的调整,或通过局部改变施工顺序,重新确认作业过程相互协作方式,利用施工过程的时间和空间进行合理交叉衔接,并编制调整后的施工进度计划,以保证施工总目标的实现。

### 12.2.5 项目的成本管理

施工项目成本控制,是指项目经理部在项目成本形成的过程中,为控制人工、机械、材料消耗和费用支出,降低工程成本,达到预期的项目成本目标所进行的成本预测、计划、实施、核算、分析、考核、整理成本资料与编制成本报告等一系列活动。

(1)项目成本构成

项目的成本主要包括项目直接成本和项目间接成本。

(2)项目成本管理程序

项目成本管理程序指从成本估算开始,经过编制成本计划,采取降低成本的措施,进行成本控制,直到成本核算与分析为止的一系列管理工作步骤。

(3)降低施工项目成本的途径和措施

降低施工项目成本的途径和措施主要有:认真仔细审图;制订先进、经济合理的施工方案;落实技术组织措施;科学组织施工;降低材料成本;提高机械利用率;利用激励机制,调动工人的积极性。

### 12.2.6 项目的现场管理

项目的现场管理是从签订工程承包合同之日起,以施工现场为管理对象,以成本、质量工期、安全、环保等要求为目标,从事各项施工现场的组织管理工作直到竣工验收交付使用为止。

项目的现场管理的内容包括:施工现场平面布置与管理;施工现场文明施工管理;施工现场质量检查管理;施工现场的合同管理;正确实施施工现场管理与调度。

### 12.2.7 项目的合同管理

施工项目合同管理是对工程项目施工过程中所发生的或所涉及的一切经济、技术合同的签订、履行、变更、索赔、解决争议、终止与评价的全过程进行的管理工作。

(1)施工项目合同管理的内容

①建立健全施工项目合同管理制度。

②经常对合同管理人员、项目经理及有关人员进行合同法律知识教育,提高合同业务人员法律意识和专业素质。

③谈判签约阶段,监督双方依照法律程序签订合同,组织配合有关部门做好施工项目合同的鉴证、公证工作,并在规定时间内送交合同管理机关等有关部门备案。



④合同履行阶段,主要是检查合同的执行情况并做好统计分析。

⑤合同的保管和归档。

#### (2) 合同的履行

合同一旦生效,对发包方、承包方和监理工程师都具有法律的约束力,在合同有效期内,每一方都必须全面履行合同规定的义务和责任,并享有相应的权利。

违约责任是指在合同履行过程中,发包方或承包方发生违约行为后,违约方应承担的责任。这在合同中都应有明确的规定,合同双方详细了解这些规定,一是为了使自己不发生违约行为,避免违约责任造成的损失;二是对方发生违约行为时,及时进行索赔,以保护自己的合法权益。

#### (3) 工程索赔

索赔是指在经济合同实施过程中,合同一方当事人因对方不履行或未能正确履行合同所规定的义务而遭受损失,向对方提出赔偿要求。

在工程承包活动中,凡不是由于承包商自身的原因,而是由外界因素造成的工期延长或成本增加,都可以提出索赔要求。

#### (4) 争议的解决

合同争议也叫合同纠纷,旨在合同履行过程中,合同当事人对各自的权利、义务和责任有不同的主张和要求而引起的争执。

合同当事人在履行施工合同时,解决所发生争议、纠纷的方式有和解、调解、仲裁和诉讼等。

## 12.3 工程项目的招投标程序

建设工程招标投标,是指建设单位通过招标的方式,将建设工程项目的勘察、设计、施工、材料设备供应、监理等业务,一次或分步发包,由具有相应资质的承包单位通过投标竞争的方式承接。整个招标投标过程包含招标、投标和定标(决标)三个主要阶段。

### 12.3.1 建设工程招标投标的基本原则

建设工程招标投标的基本原则包括:

- ①公开原则;
- ②公平原则;
- ③公正原则;
- ④诚实信用原则。

### 12.3.2 招标

#### (1) 招标的范围及条件

##### ① 招标的范围。

《招标投标法》第三条规定,在中华人民共和国境内进行下列建设工程项目包括项目的勘察、设计、监理以及与工程建设有关的重要设备、材料等的采购,必须进行招标:

- a. 大型基础设施、公用事业等关系社会公共利益、公众安全的项目;
- b. 全部或者部分使用国有资金投资或者国家融资的项目;
- c. 使用国际组织或者外国政府贷款、援助资金的项目。

##### ② 招标的条件。

招标项目按照规定应具备两个基本条件：

- a. 招标项目按照国家有关规定需要履行项目审批手续的，应当先履行审批手续，取得批准；
- b. 招标人应当有进行招标项目的相应资金或者资金来源已经落实，并应当在招标文件中如实

载明。

#### (2) 招标程序

①建立专门的招标工作机构。

②招标单位在发布招标公告或发出招标邀请书的5日前，向工程所在地县级以上地方人民政府建设行政主管部门备案，并报送有关材料。

③准备招标文件和标底，报建设行政主管部门审核或备案。

④发布招标公告或发出招标邀请书。

⑤投标单位申请投标。

⑥招标单位审查申请投标单位的资格，并将审查结果通知申请投标单位。

⑦向合格的投标单位分发投标文件。

⑧组织投标单位踏勘现场，召开答疑会，解答投标单位就招标文件提出的问题。

⑨建立评标组织，制订评标、定标办法。

⑩召开开标会，当场开标。

⑪组织评标，决定中标单位。

⑫发出中标和未中标通知书，收回发给未中标单位的图纸和技术资料，退还投标保证金或保函。

⑬招标单位与中标单位签订施工承包合同。

#### (3) 建设工程招标的方式

①公开招标：招标人采用公开招标方式的，应当发布招标公告。依法必须进行招标的项目的招标公告，应当通过国家指定的报刊、信息网络或者其他媒介发布。

②邀请招标：招标人采用邀请招标方式的，应当向三个以上具备承担招标项目的能力、资信良好的特定法人或者其他组织发出投标邀请书。

#### (4) 发布招标公告或投标邀请书

招标公告必须在主管部门指定的媒介上发布，招标公告必须载明招标人的名称和地址、招标工程项目的性质、数量、实施地点和时间、投标截止日期以及获取招标文件的办法等事项。

依法实行邀请招标的工程项日，应由招标人或其委托的招标代理机构向拟邀请的招标人发送投标邀请书，邀请书的内容与招标公告类似。

#### (5) 投标人的资格审查

投标人的资格审查有预审和复审两种：

①资格预审是在投标前对有兴趣投标的单位进行资格审查，审查合格方允许其参加投标。

②资格复审是投标人无须经过预审即可参加投标，待开标后再对其资格进行审查，审查合格者方可参加评标，不合格的直接按废标处理。

#### (6) 编制标底

招标的工程项目是否编制标底，我国现行法规没有统一的规定，有的地方则要求招标工程必须编制标底，且需经建设行政主管部门或其授权单位审查批准；招标人没有标底的，标底必须保密。

标底的实质是业主单位对招标工程的预期价格。

#### (7) 招标的其他有关规定

招标人应当根据招标项目的特点和需要编制招标文件。招标文件应当包括招标项目的技术要求、对投标人资格审查的标准、投标报价要求和评标标准等所有实质性要求和条件以及拟签订合同的主要条款。国家对招标项目的技术、标准有规定的,招标人应当按照其规定在招标文件中提出相应要求。招标项目需要划分标段、确定工期的,招标人应当合理划分标段、确定工期,并在招标文件中载明。

招标人对已发出的招标文件进行必要澄清或者修改的,应当在招标文件要求提交投标文件截止时间至少 15 日前,以书面形式通知所有招标文件收受人。该澄清或者修改的内容为招标文件的组成部分。

招标人应当确定投标人编制投标文件所需要的合理时间;但是,依法必须进行招标的项目,自招标文件开始发出之日起至投标人提交投标文件截止之日止,最短不得少于 20 日。

### 12.3.3 投标

投标人应当具备承担招标项目的能力;国家有关规定对投标人资格条件或者招标文件对投标人资格条件有规定的,投标人应当具备规定的资格条件。投标人应当按照招标文件的要求编制投标文件。投标文件应当对招标文件提出的实质性要求和条件作出响应。

#### (1) 投标程序

投标程序如下:得知招标信息→申请投标→办理资格预审→取得招标文件→研究招标文件→实地调查→确定投标策略→编制施工方案→编制标书→投送标书。

#### (2) 投标准备工作

①研究招标文件。资格预审合格,取得了招标文件,即进入投标实战的准备阶段。首要的准备工作是仔细地研究招标文件,充分了解其内容和要求,以便安排投标工作的部署,并发现应提请招标单位予以澄清的疑点。

②调查投标环境。投标环境是指招标工程项目施工的自然、经济和社会条件。这些条件都是工程施工的制约因素,必然影响工程成本和工期,投标报价时必须考虑,所以应在报价之前尽可能地了解清楚。

#### (3) 投标决策与投标策略

①投标决策分析。资格预审合格,取得了招标文件,调查了投标环境,承包商面临着是否投标的问题,也就是要作出投标或不投标的决策。

#### ②确定投标策略。

#### (4) 制订施工方案

施工方案主要包括下列基本内容:

- ①施工的总体规划与场地总平面布置;
- ②施工总进度和单项(单位)工程进度;
- ③主要施工方法;
- ④主要施工机械设备数量及其配置;
- ⑤劳动力数量、来源及其配置;
- ⑥主要材料需用量、来源及分批进场的时间安排;
- ⑦自采砂石和自制构配件的生产工艺及机械设备;
- ⑧大宗材料和大型机械设备的运输方式;
- ⑨现场水、电需用量及来源,供水、供电设施;

⑩临时设施数量和标准。

(5) 报价

① 报价的内容。

国内工程投标报价的内容就是建筑安装工程费的全部内容。财务会计制度改革后,规定建筑安装工程费包括:直接工程费(直接费、其他直接费、现场经费)、间接费、利润和税金。

② 报价的基础工作:

a. 熟悉施工方案,了解本单位在投标项目上的工期和进度安排,准备采用的施工方法和主要机械设备,以及现场临时设施等。

b. 核算工程量。通常可对招标文件中的工程量清单中的工程量进行重点抽查。

c. 选用工具、材料、机械消耗量定额,国内工程投标报价,按规定依造价管理部门统一制订的概/预算定额为依据。

d. 确定分部分项工程单价,这是和选用(或制订)消耗定额紧密相连的工作。

e. 确定现场经费、间接费率和预期利润率。

(6) 投标的其他有关规定

投标人应当在招标文件要求提交投标文件的截止时间前,将投标文件送达投标地点。招标人收到投标文件后,应当签收保存,不得开启。投标人少于3个的,招标人应当依照《招标投标法》重新招标。

两个以上法人或者其他组织可以组成一个联合体,以一个投标人的身份共同投标。联合体各方均应当具备承担招标项目的相应能力;国家有关规定或者招标文件对投标人资格条件有规定的,联合体各方均应当具备规定的相应资格条件。由同一专业的单位组成的联合体,按照资质等级较低的单位确定资质等级。联合体各方应当签订共同投标协议,明确约定各方拟承担的工作和责任,并将共同投标协议连同投标文件一并提交招标人。联合体中标的,联合体各方应当共同与招标人签订合同,就中标项目向招标人承担连带责任。

投标人不得相互串通投标报价,不得排挤其他投标人的公平竞争,不得损害招标人或者其他投标人的合法权益。投标人不得与招标人串通投标,损害国家利益、社会公共利益或者他人的合法权益。禁止投标人以向招标人或者评标委员会成员行贿的手段谋取中标。

### 12.3.4 开标、评标和中标

(1) 开标

开标应当在招标文件确定的提交投标文件截止时间的同一时间公开进行,开标地点应当为招标文件中预先确定的地点。开标由招标人主持,邀请所有投标人参加。

开标时,由投标人或者其推选的代表检查投标文件的密封情况,也可以由招标人委托的公证机构检查并公证;经确认无误后,由工作人员当众拆封,宣读投标人名称、投标价格和投标文件的其他主要内容,开标过程应当记录,并存档备查。

(2) 评标

开标后进入评标,评标由招标人依法组建的评标委员会负责,评标委员会按照招标文件确定的标准和方法,对投标文件进行评审和比较,并对评标结果签字确认。

依法必须进行招标的项目,其评标委员会由招标人的代表和有关技术、经济等方面的专家组成,成员人数为5人以上单数,其中技术、经济等方面的专家不得少于成员总数的2/3。

专家应当从事相关领域工作满8年并具有高级职称或者具有同等专业水平,由招标人从国务

院有关部门或者省、自治区、直辖市人民政府有关部门提供的专家名册或者招标代理机构的专家库内相关专业的专家名单中确定,一般招标项目可以采取随机抽取方式,特殊招标项目可以由招标人直接确定。与投标人有利害关系的人不得进入相关项目的评标委员会,已经进入的应当更换。

评标委员会成员的名单在中标结果确定前应当保密。

### (3) 中标

评标委员会应当按照招标文件确定的评标标准和方法,对投标文件进行评审和比较,设有标底的,应当参考标底。评标委员会完成评标后,应当向招标人提出书面评标报告,并推荐合格的中标候选人。

招标人根据评标委员会提出的书面评标报告和推荐的中标候选人确定中标人。招标人也可以授权评标委员会直接确定中标人。中标人确定后,招标人应当向中标人发出中标通知书,并同时 will 中标结果通知所有未中标的投标人。

中标通知书对招标人和中标人具有法律效力。中标通知书发出后,招标人改变中标结果的,或者中标人放弃中标项目的,应当依法承担法律责任。

招标人和中标人应当自中标通知书发出之日起 30 日内,按照招标文件和中标人的投标文件订立书面合同。招标人和中标人不得再行订立背离合同实质性内容的其他协议。

招标文件要求中标人提交履约保证金的,中标人应当提交。

## 12.4 建设工程的监理

《建筑法》明确规定:“建筑工程监理应当依照法律、行政法规及有关的技术标准、设计文件和建筑工程承包合同,对承包单位在施工质量、建设工期和建设资金使用等方面,代表建设单位实施监督。”

建筑工程监理的特性主要表现为服务性、科学性、独立性和公正性。

### (1) 建设工程监理的范围

实行监理的建设工程项目必须确定具体范围和规模标准,规范建设工程监理活动,根据《建筑法》和《建设工程质量管理条例》,下列建设工程必须实行监理。

#### ① 国家重点建设工程。

② 大中型公用事业工程。它是指项目总投资额在 3000 万元以上的下列工程项目:成片开发建设的住宅小区工程,建筑面积在 50000m<sup>2</sup> 以上的住宅建设工程必须实行监理;50000m<sup>2</sup> 以下的住宅建设工程,可以实行监理,具体范围和规模由省、自治区、直辖市人民政府建设行政主管部门规定。为保证住宅质量,对高层住宅及地基、结构复杂的多层住宅应当实行监理。

#### ③ 利用外国政府或者国际组织贷款、援助资金的工程。

#### ④ 国家规定必须实行监理的其他工程。

### (2) 建设工程监理的内容

建设工程监理分为建设前期阶段、勘察设计阶段、施工招标阶段、施工阶段和保修阶段的监理,各阶段监理的主要内容包括控制工程建设的投资、建设工期和工程质量,进行工程建设的合同管理,协调有关单位间的工作关系等。

监理工程师的主要工作为“三控三管一协调”。“三控”是指投资控制、进度控制、质量控制;“三管”是指合同管理、安全管理和风险管理;“一协调”是指施工阶段项目监理机构组织协调工作。

监理工程师的检查方法主要有:旁站、巡视、平行检验。

### (3) 工程监理单位

工程监理单位是由社会上建设工程监理企业(工程建设监理公司或工程建设监理事务所)受业主的委托和授权,依照国家有关工程建设的法律、法规、政策、技术标准和设计文件、建设工程委托监理合同、建设工程施工合同等,对工程项目建设的活动所实施的监督、管理,包括对工程建设活动的组织、协调、监督控制和服务等一系列技术服务活动。

#### ① 监理单位的资质。

监理单位的资质是指从事建设工程监理业务的工程监理企业,应当具备的注册资本、专业技术人员的素质、管理水平及工程监理业绩等。

a. 监理单位必须有经建设行政主管部门审查并签发的,具有承担监理合同内规定的建设监理资格的资质等级证书。

b. 监理单位必须是经工商行政管理机构审查注册,取得营业执照,具有独立法人资格的正式企业。

c. 工程监理企业的资质等级分为甲级、乙级和丙级,并按照工程性质和技术特点划分为若干工程类别。

#### ② 监理单位与建设单位的关系。

a. 建设单位与监理单位的关系是平等的合同约定关系,是委托与被委托的关系。

b. 在工程建设项目监理实施的过程中,总监理工程师应定期(月、季、年度)根据委托监理合同的业务范围,向建设单位报告工程进展情况、存在问题,并提出建议和打算。

c. 总监理工程师在工程建设项目实施的过程中,严格按建设单位授予的权力,执行建设单位与承建单位签署的建设工程施工合同,无权自主变更建设工程施工合同,但可以及时向建设单位提出建议,协助建设单位与承建单位协商变更建设工程施工合同。

d. 总监理工程师在工程建设项目实施的过程中是独立的第三方,当建设单位与承建单位在执行建设工程施工合同过程中发生的任何争议,均需提交总监理工程师调解。

e. 工程建设监理是有偿服务活动,其酬金及计提办法,由建设单位与监理单位依据所委托的监理内容、工作深度、国家或地方的有关规定协商确定,并写入委托监理合同。

#### ③ 监理单位与承建单位的关系。

a. 监理单位在实施监理前,建设单位必须将监理的内容、总监理工程师的姓名、所授予的权限等,书面通知承建单位。

b. 监理单位与承建单位之间没有合同关系,监理单位是存在于签署建设工程施工合同的甲乙双方之外的独立一方,在工程项目实施的过程中,监督合同的执行,体现其公正性、独立性和合法性,监理单位不直接承担工程建设中进度、造价和工程质量的经济责任和风险。

### (4) 监理工程师

#### ① 监理工程师的责任。

在工程施工阶段,监理工程师的责任是根据国家的法规、技术标准、设计文件、监理合同、建设工程施工合同等,在工程项目施工的全过程进行监督、管理,包括控制建设工程的投资、建设工期和工程质量;进行工程建设合同管理和信息管理;协调有关单位间的工作关系。

#### ② 监理工程师的权利。

a. 发现建设工程设计不符合建筑工程质量标准或者合同约定的质量要求的,应当报告建设单位并要求设计单位改正。

b. 认为工程施工不符合设计要求、施工技术标准 and 合同约定的,或者可能产生工程质量或安

全隐患的,有权要求建筑施工企业改正。

c. 对影响建设工程主体结构质量和安全的建筑材料、构配件和设备,未经监理工程师签字认可,不得在工程上使用或者安装;对其他质量不合格的建筑材料、构配件和设备,要求施工单位停止使用;未经监理工程师签字认可,建筑材料、构配件和设备不得在工程上使用或者安装,施工单位不得进行下一道工序施工。

d. 对隐蔽工程进行验收,未经总监理工程师签字认可,不得进行竣工验收。

e. 建议撤换不合格的承接建设工程项目的单位、项目负责人或者有关人员。

f. 建议撤换不合格的建设单位项目负责人,并有权向有关主管部门反映。

g. 具有计划进度与建设工期上的确认与否决权。

h. 具有工程计量、工程款支付与结算上的确认与否决权。

i. 具有施工组织协调上的主持权。

## 12.5 案例分析

### 案例一:工程招投标案例

某大型工程,由于技术特别复杂,对施工单位的施工设备及与同类工程的施工经验要求较高,经省有关部门批准后决定采取邀请招标方式。招标人于2007年3月8日向通过资格预审的A、B、C、D、E五家施工承包企业发出了投标邀请书,五家企业接受了邀请并于规定时间内购买了招标文件。招标文件规定:2007年4月20日下午4时为投标截止时间,5月10日发出中标通知书。

在4月20日上午A、B、D、E四家企业提交了投标文件,但C企业于4月20日下午5时才送达。4月23日由当地投标监督办公室主持进行了公开开标。

评标委员会共有7人组成,其中当地招标办公室1人,公证处1人,招标人1人,技术经济专家4人。评标时发现B企业投标文件有项目经理签字并盖了公章,但无法定代表人签字和授权委托书;D企业投标报价的大写金额与小写金额不一致;E企业对某分项工程报价有漏项。招标人于5月10日向A企业发出了中标通知书,双方于6月12日签订了书面合同。

问题:①该项目采取的招标方式是否妥当?说明理由。

②分别指出对B企业、C企业、D企业和E企业投标文件应如何处理?并说明理由。

③指出开标工作的不妥之处,并说明理由。

④指出评标委员会人员组成的不妥之处。

⑤指出招标人与中标企业6月12日签订合同是否妥当,并说明理由。

答:①妥当。工程方案、技术特别复杂的工程经批准后方可进行邀请招标。

②B企业投标文件无效,因无法人代表签字,又无授权书;C企业投标文件应作废标处理,超出投标截止时间;D企业投标文件有效,属细微偏差;E企业投标文件有效,属细微偏差。

③开标时间不妥,开标时间应为投标截止时间;开标主持单位不妥,开标应由招标单位代表主持。

④公证处人员只公证投标过程,不参与评标;招标办公室人员只负责监督招标工作,不参与评标;技术经济专家不得少于评标委员会成员总数的2/3,即不少于5人。

⑤不妥,招标人与中标人应于中标通知书发出之日起30日内签订书面合同。

### 案例二:工程项目管理案例

某政府机关在城市繁华地段建一幢办公楼。在施工招标文件的附件中要求投标人具有垫资能



力,并写明:投标人承诺垫资每增加 500 万元的,评标增加 1 分。某施工总承包单位中标后,因设计发生重大变化,需要重新办理审批手续。为了不影响按期开工,建设单位要求施工总承包单位按照设计单位修改后的草图先行开工。施工中发生了以下事件。

事件 1:施工总承包单位的项目经理在开工后又担任了另一个工程的项目经理,于是项目经理委托执行经理代替其负责本工程的日常管理工作,建设单位为此提出异议。

事件 2:施工总承包单位以包工包料的形式将全部结构工程分包给劳务公司。

事件 3:在底板结构混凝土浇筑过程中,为了不影响工期,施工总承包单位在连夜施工的同时,向当地行政主管部门报送了夜间施工许可申请,并对附近居民进行公告。

为了分解垫资压力,施工总承包单位与劳务公司的分包合同中写明:建设单位向总承包单位支付工程款后,总承包单位才向分包单位付款,分包单位不得以此要求总承包单位承担逾期付款的违约责任。

为了强化分包单位的质量安全责任,总、分包双方还在补充协议中约定,分包单位出现质量安全问题,总承包单位不承担任何法律责任,全部由分包单位自己承担。

问题:①建设单位招标文件是否妥当?说明理由。

②施工总承包单位开工是否妥当?说明理由。

③事件 1 至事件 3 中施工总承包单位的做法是否妥当?说明理由。

④分包合同条款能否规避施工总承包单位的付款责任?说明理由。

⑤补充协议的约定是否合法,说明理由。

答:①建设单位招标文件不妥当,理由:不能把承诺垫资作为加分的条件。

②施工总承包单位开工不妥当,理由:《建设工程质量管理条例》规定,施工图设计文件未经审查批准的,不得使用。建设单位要求施工总承包单位按照设计单位修改后的草图先行开工违反了《建设工程质量管理条例》的规定。

③事件 1 中,施工总承包单位的做法不妥当,理由:不应该同时担任两个项目的项目经理。

事件 2 中,施工总承包单位的做法不妥当,理由:《建筑法》规定,建筑工程的主体结构的施工必须由总承包单位自行完成,而本事件中总承包单位以包工包料的形式将全部结构工程分包给劳务公司,不符合规定,况且还分包给不具备相应资质条件的分包公司。

事件 3 中,施工总承包单位的做法不妥当,理由:在城市市区范围内从事建筑工程施工,如需夜间施工的,在办理了夜间施工许可证证明后,才可以进行夜间施工,并公告附近社区居民。

④分包合同条款不能规避施工总承包单位的付款责任,理由:因为分包合同是由施工总承包单位与分包单位签订的,不涉及建设单位,总承包单位不能因建设单位未付工程款为由拒付分包单位的工程款。

⑤补充协议的约定不合法,理由:建设工程实行施工总承包的,总承包单位应当对全部建设工程质量负责,总承包单位与分包单位对分部工程的质量承担连带责任;由总承包单位对施工现场的安全负总责,总承包单位与分包单位对分包工程的安全生产承担连带责任。

### 本章小结

(1)建设法律包括《建筑法》、《合同法》、《招标投标法》。

(2)工程的项目管理主要包括:安全管理、质量管理、技术管理、进度管理、成本管理、现场管理、合同管理等。

(3)建设工程招标的方式有公开招标和邀请招标。

(4)监理工程师的主要工作为“三控三管一协调”。“三控”指投资控制、进度控制、质量控制；“三管”指合同管理、安全管理和风险管理；“一协调”指施工阶段项目监理机构组织协调工作。

(5)监理工程师的检查方法主要有旁站、巡视、平行检验。

(6)工程监理企业的资质等级分为甲级、乙级和丙级。

### 独立思考

12-1 工程的建设程序有哪些？

12-2 建设法规有哪些？

12-3 项目管理的内容有哪些？

12-4 招投标的过程及注意事项有哪些？

12-5 什么是“三控三管一协调”？

### 参考文献

[1] 叶志明. 土木工程概论. 北京: 高等教育出版社, 2009.

[2] 周新刚. 土木工程概论. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

[3] 张立伟. 土木工程概论. 北京: 机械工业出版社, 2004.